

OBTENCIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO CON RESIDUOS PLÁSTICOS
DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS PARA LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS NO
ESTRUCTURALES



JOHNNY VARGAS FIGUEROA

ELKYN POLO PADILLA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

BARRANQUILLA

2017

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN: OBTENCIÓN DE UNA MEZCLA DE CONCRETO
CON RESIDUOS PLÁSTICOS DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS PARA LA
FABRICACIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

JOHNNY VARGAS FIGUEREDO

ELKYN POLO PADILLA

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

DR.ENG. MARIAN SABAU

CO-DIRECTOR:

ING. ESP. YAMITH CANTILLO

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

BARRANQUILLA

2017

Nota de aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

RESUMEN

El acelerado aumento de la tasa de crecimiento poblacional en el mundo y el estilo de vida actual basado en el consumismo, han incrementado de forma considerable la cantidad de desechos generados por la actividad humana. Específicamente, los desechos electrónicos ocasionan un significativo daño al medio ambiente como consecuencia de su difícil proceso de degradación. Esta investigación pretende establecer la viabilidad de implementar los desechos electrónicos de tipo plástico (E- Waste) en la elaboración de concreto no estructural usado en la construcción mediante la realización de pruebas para conocer la resistencia a la compresión de mezclas con 40%, 50% y 60% de agregado plástico reemplazado con base a la cantidad de agregado grueso obtenido para un diseño de mezcla de $f'c$ 21 MPa realizado con materiales convencionales implementados tradicionalmente en la elaboración de hormigón, todo esto teniendo en cuenta los estándares de durabilidad y resistencia requeridos.

Palabras claves: Concreto, Desechos Electrónicos, Medio ambiente, resistencia, durabilidad

ABSTRACT

The accelerated increase in population growth rate in the world and the current lifestyle based on consumerism have considerably increased the amount of waste generated by human activity. Specifically, electronic waste causes significant damage to the environment as a result of its difficult degradation process. This research aims to establish the feasibility of implementing electronic waste of plastic type (E-Waste) in the construction of non-structural concrete used in the construction by performing tests to know the compressive strength of mixtures with 40%, 50% And 60% of plastic aggregate replaced on the basis of the amount of coarse aggregate obtained for a 21 MPa blend design of f'c made with conventional materials traditionally implemented in the manufacture of concrete, all this taking into account the standards of durability and strength Required.

Keywords: Concrete, E-waste, Environment, strength, Durability

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVO GENERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
4. MARCO DE REFERENCIA	21
4.1 MARCO TEÓRICO.....	21
4.1.1. DESECHOS E-WASTE	21
4.1.2. GENERALIDADES DEL CONCRETO.....	24
4.1.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.....	28
4.1.4. MATERIALES NO CONVENCIONALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.....	37
4.1.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.....	43
4.1.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	49
4.1.7. RESISTENCIA DEL CONCRETO.	51
4.1.8. DURABILIDAD DEL CONCRETO.	53
4.1.9. PESO UNITARIO Y APARIENCIA DEL CONCRETO.	56
4.1.10. CAMBIOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO.	57
4.1.11. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.	58
4.1.12. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	59
4.2. MARCO LEGAL	73
4.2.2. VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL.....	73
4.2.3. TRATAMIENTO DE DESECHOS PLÁSTICOS EN COLOMBIA.....	81
4.3. ESTADO DEL ARTE.....	83
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	91

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL	97
6.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	97
6.1.1. CARACTERIZACION DE CEMENTO.....	97
6.1.2. CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS	106
6.2 DISEÑO DE MEZCLA METODO A.C.I DEL COMITÉ 211.1	121
6.3 ELABORACIÓN DE MEZCLA Y PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.	132
6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	136
6.5. ANALISIS DE COSTOS	139
7. CONCLUSIONES.....	146
8. BIBLIOGRAFÍA	150
ANEXOS	157

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Distribución porcentual de hogares según tipo de tendencia de la vivienda 2014 – 2015 (DANE, 2016)	13
Figura 2. Recolección de desechos tecnológicos en Colombia. Fuente: (El Espectador, 2012).	19
Figura 3. Tipología de vivienda de interés social típica en Colombia. Fuente: RTVC (Sánchez, 2015)	20
Figura 4. Simbología empleada por fabricantes para indicar que un producto fue fabricado a partir de plástico ABS según la norma ISO 11469.....	21
Figura 5. Simbología empleada por fabricantes para indicar que un producto fue fabricado a partir de plástico PC según la norma ISO 11469.....	24
Figura 6. Obras de la antigüedad en las que se empleó mortero de pega o Concreto. Fuente:(Hanser, 2006; Hopkins & Beard, 2006; Matthew, 2013).	26
Figura 7. Polvo de cemento. Fuente: (CTH NAVARRA, 2016).....	29
Figura 8. Ciclo Geológicos de las Rocas (Borrego Aguayo J., 1994).	37
Figura 9. Reacción pasta de cemento (hidróxido de calcio) vs Puzolana. (Balbuena, 2012)	39
Figura 11. Concreto flexible ultrarresistente sometido a ensayo de carga por flexión. (PRAGMACERO, 2014)	41
Figura 12. Ruptura y transporte del Concreto reciclado. (BLOG 360° EN CONCRETO, 2015).....	42
Figura 13. Trituración de fragmentos de concreto reciclado. (BLOG 360° EN CONCRETO, 2015).....	43
Figura 14. Segregación de agregados en concreto endurecido. (ldb, 2015).....	44
Figura 15. Segregación de agregados en concreto endurecido. (ldb, 2015).....	44
Figura 16. Cono de Abrams. (Sanchez De Guzman, 2011)	46
Figura 17. Ensayo de Cono de Abrams para la determinación del asentamiento del concreto.....	46
Figura 18. Ensayo de Resistencia a la Compresión NTC 673.....	52

Figura 19. Variación en el porcentaje de resistencia final para cada porcentaje de agregado plástico adicionado según la resistencia inicial de la mezcla de referencia (Lakshmi et al., 2011) y (Kumar&Baskar, 2014)	88
Figura 20. Comparación entre las diferentes granulometrías de los materiales ensayados en estudios previos (Sadrmomtazi et al., 2015) y (Batayneh et al., 2007)	90
Figura 21. Curva granulométrica del agregado Fino - Arena de Santo Tomas. ..	109
Figura 22. Curva granulométrica del agregado grueso - Gravilla.	111
Figura 23. Curva granulométrica del agregado Plástico E-WASTE.	112
Figura 24. Reducción de peso del concreto con agregado plástico con respecto al concreto base (convencional).....	139
Figura 25. Análisis de precio muro en bloque concreto con agregado plástico y materiales convencionales.	145

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los compuestos de los polímeros tipo ABS (Bucknall, 1977).	22
Tabla 2. Propiedades Mecánicas y Térmicas de los plásticos ABS (TECARAN, 2017).	23
Tabla 3. Denominación de los diferentes tipos de cemento Portland.(ICONTEC, 2007)	29
Tabla 4. Valores típicos de la composición química de los diferentes tipos de cemento Portland. (Sanchez De Guzman, 2011)	30
Tabla 5. Uso de los diferentes tipos de cemento Portland(ICONTEC, 2007).	30
Tabla 6. Especificaciones de los parámetros físicos y químicos del cemento Portland tipo I (Argos) utilizado en el diseño de mezcla.	32
Tabla 7. Tolerancia de concentraciones de impurezas en el agua de mezclas (Sanchez De Guzman, 2011).	35
Tabla 8. Asentamientos recomendados para cada tipo de obra.	48

Tabla 9. Mayoración de la resistencia a la compresión de diseño	64
Tabla 10. Tamaño máximo de agregado grueso.....	66
Tabla 11. Módulo de finura de la arena.....	66
Tabla 12 Determinación del Contenido de Agua.....	67
Tabla 13. Relación Agua-Cemento	68
Tabla 14 Tabla determinación de agregado grueso	69
Tabla 15. Resultados del proceso de tamizado del polvo de cemento.....	104
Tabla 16. Resultados obtenidos de la aplicación del Ensayo de Granulometría al Agregado Grueso "Gravilla".	107
Tabla 17. Resultados obtenidos de la aplicación del Ensayo de Granulometría al Agregado Fino "Arena".....	108
Tabla 19. Porcentaje de Sustitución de Agregado Plástico determinado con respecto al volumen.....	126
Tabla 20. Resumen de Cantidades Para diseño de mezcla con 40% de Agregado plástico.	128
Tabla 21. Resumen de Cantidades Para diseño de mezcla con 50% de Agregado plástico.	130
Tabla 22. Resumen de Cantidades Para diseño de mezcla con 60% de Agregado plástico.	131
Tabla 23. Cantidades finales empleadas en la elaboración de los concretos 1,2,3 y 4.	132
Tabla 24. Referenciación indicada para cada tipo de concreto según el porcentaje de plástico adicionado.....	133
Tabla 25. Parámetros y propiedades de la mezcla.	134
Tabla 26. Cantidades de concreto requeridas para la elaboración de 1 m ³ de concreto.....	135
Tabla 27. Cantidades de concreto requeridas para la elaboración de 24 cilindros de concreto.....	136
Tabla 28. Valores de resistencia a la compresión resultantes a los 7, 14 y 28 días de curado.	136
Tabla 29. Cantidades para levante de 1m ² de muro en bloque samo 10x20x40.	143

Tabla 30. Cantidades para levante de 1 m ² de muro en bloque cemento 10x20x40.	
.....	143
Tabla 31. Cantidades para levante de 1m ² de muro en bloque con agregado plástico 10x20x40.....	143

LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de la Curva Formulada por Thompson.....	61
Ecuación 2. Relación agua cemento.	69
Ecuación 3. Formulas empleadas para la determinación de las cantidades de Cemento, Agua y Agregado Grueso.	70
Ecuación 4. Fórmula para la determinación de la cantidad de Agregado Fino.	71
Ecuación 5. Formulas empleadas para la determinación de la cantidad de Agregado con corrección de humedad.	72
Ecuación 6. Determinación de las Proporciones de los agregados para un metro cubico de concreto	72
Ecuación 7. Fórmula empleada para la determinación de la densidad del cemento.	98
Ecuación 8. Calculo del peso específico del cemento marca Argos.	100
Ecuación 9. Fórmula para la determinación de la finura del cemento.....	103
Ecuación 10. Fórmula para la determinación de la finura del cemento con corrección.	103
Ecuación 11. Fórmula empleada en la determinación de la finura del cemento (sin factor de corrección).....	104
Ecuación 12. Calculo de la finura del cemento (con factor de corrección).	105
Ecuación 13. Fórmula empleada en la determinación del volumen del cilindro usado como molde en la elaboración de los especímenes de concreto.	114
Ecuación 14. Relación empleada en la determinación del factor cemento	123
Ecuación 15. Calculo del Volumen final de agregado Grueso más Plástico.	124

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el acelerado aumento de la tasa de crecimiento poblacional en el mundo y el estilo de vida actual basado en el consumismo, han incrementado significativamente la cantidad de desechos provenientes de todo tipo de actividad humana. Específicamente, los desechos electrónicos ocasionan un significativo daño al medio ambiente, debido a la cantidad de residuos de este tipo que diariamente son transportados hasta los rellenos sanitarios y la gran dificultad que existe para clasificar, procesar y descomponer este tipo de materiales, es por ello que en el campo de la investigación, los estudios encaminados a la obtención de alternativas pensadas para reutilizar este tipo de desechos han tenido gran acogida.

Esta investigación pretende establecer la viabilidad de implementar los desechos electrónicos de tipo plástico (E-Waste) en la elaboración de concreto no estructural usado en la construcción mediante la realización de pruebas para conocer la resistencia a la compresión de mezclas con 40%, 50% y 60% de agregado plástico reemplazado con base a la cantidad de agregado grueso obtenido para un diseño de mezcla de $f'c$ 21 MPa realizado con materiales convencionales implementados tradicionalmente en la elaboración de hormigón.

Al implementarse este tipo de partículas en la realización de la mezcla de concreto utilizada en la construcción no solo se está produciendo una iniciativa de tipo ambiental que busca mitigar el impacto negativo generado sobre el entorno, sino que además se espera que se genere una disminución notablemente en el costo

final de la producción, lo que reduciría los costos asociados a la compra de materiales para la elaboración de hormigón en sitio. Específicamente, en el caso de las viviendas de interés social cuya producción es financiada en parte por el estado para hacerse más accesible al usuario final, se requiere que los costos relacionados con la contratación de la mano de obra, la maquinaria y la compra de materiales sean lo más económicas posible con el fin de optimizar el presupuesto a emplear, todo esto garantizando que el resultado final cumpla con los estándares de calidad y durabilidad estipulados en la normativa Sismo Resistente Colombiana NSR – 10 (AIS, 2010). De esta forma, al disminuir los costos en la construcción se mejoraría notablemente la calidad de vida de millones de personas en el país que buscan adquirir vivienda propia. De acuerdo con el gráfico de “Distribución porcentual de hogares según tipo de tendencia de la vivienda” mostrado en la (Figura 1), en el año 2015 el porcentaje de la población en Colombia que poseía vivienda propia y totalmente pagada correspondía al 41,1 % del total de la población, con respecto al año 2014 tan solo se incrementó el porcentaje de adquisición de vivienda propia en un 0.5%.

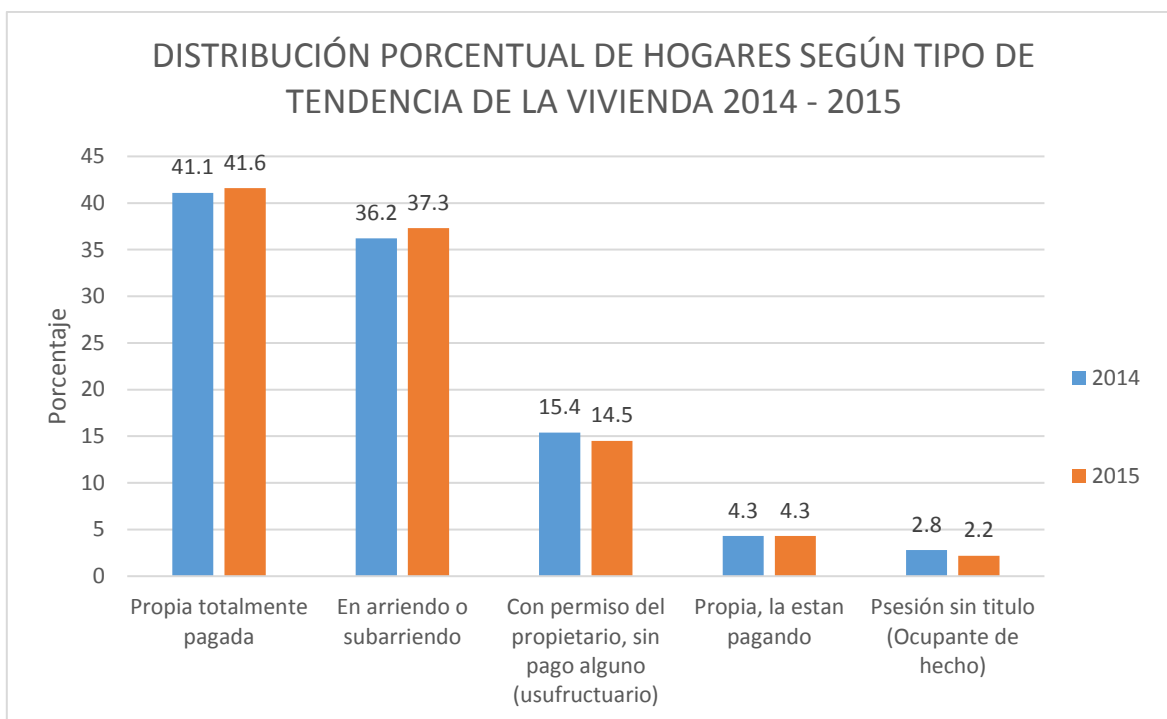


Figura 1. Distribución porcentual de hogares según tipo de tendencia de la vivienda 2014 – 2015 (DANE, 2016)

Luego de desarrollarse e iniciar este proceso en Colombia, podría ser implementado en el resto de países de Latinoamérica y regiones en donde existan poblaciones con bajo nivel de ingreso que requieran de la ayuda de entidades públicas para adquirir vivienda propia, debido a que los inconvenientes que acarrearán los desechos electrónicos y el tratamiento que se requiere para su reciclaje son problemáticas que aquejan a la población a nivel mundial.

Este análisis contempla la evaluación de la calidad producto final mediante la realización del ensayo de resistencia a la compresión NTC 673 (INCONTEC, 2010) de probetas de concreto realizados mediante la normativa que rige este tipo de

ensayos en Colombia. Con el fin de encontrar una mezcla cuya proporción de materiales (polvo de cemento, agua, agregados minerales y agregados plásticos provenientes de desechos electrónicos) sea fácil de reproducir e implementar en la realización de viviendas de interés social, se ha requerido estandarizar las características en cuanto a forma y tamaño de las partículas de agregado plástico, por tal motivo la molienda de las carcasas de computadores debe realizarse a través de un proceso controlado en el que se estipule y normalice la forma como deba realizarse esta actividad y el tipo de máquina a emplear con sus respectivas especificaciones.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una mezcla de concreto a partir del uso de material plástico molido, residuo de carcasas de equipos electrónicos, en remplazo de los agregados pétreos tradicionales empleados en la fabricación de muros de concreto como elementos divisorios en viviendas de interés social.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar las propiedades de los plásticos producto del desecho electrónico, estableciendo la composición y características generales.
- Definir un diseño de mezcla para concreto empleado en la fabricación de elementos no estructurales que cumpla con la Norma Sismo resistente Colombiana, a través de la caracterización de los materiales convencionales y plásticos, a fin de definir el porcentaje adecuado de sustitución de agregado grueso por agregado plástico.
- Establecer mediante un análisis económico la viabilidad del uso del concreto con agregados plásticos en elementos no estructurales.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En tiempos modernos, el desarrollo de la vida cotidiana se ha visto enmarcado por cambios generados como consecuencia del acelerado progreso de los avances tecnológicos. Hoy en día la realización de casi cualquier actividad requiere del uso de dispositivos electrónicos, ya sea para almacenar información, usar como medio de comunicación o simplemente por ocio. En la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (DANE, 2014), realizada en el año 2013 en Colombia, se registró que el 42,2% del total nacional de hogares poseía computador de escritorio, portátil o tableta mientras que en el 2012, el porcentaje de hogares con computador de escritorio o portátil fue de 38,4% dentro del total de la población.

Factores, como el crecimiento poblacional, la disminución en los precios de los artículos tecnológicos, la globalización y la creciente necesidad de los hogares de incorporar herramientas tecnológicas que faciliten sus labores cotidianas han aumentado notablemente la tasa de adquisición de este tipo de artículos. Sin duda alguna, la adquisición de herramientas tecnológicas mejora notablemente la calidad de vida de los hogares. En materia de educación, las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), juegan un papel importante en el mejoramiento de la calidad de la enseñanza, razón por la cual el gobierno colombiano invierte anualmente una gran cantidad de recursos con el fin de mejorar las aulas de clase de las instituciones públicas del país. En el sector privado, el uso de computadores

destinados al almacenamiento y organización de datos resulta fundamental para mejorar la competitividad de las empresas y organizaciones.

Como consecuencia del aumento progresivo en la demanda de dispositivos electrónicos y el difícil proceso de degradación de los materiales a partir de los cuales estos son producidos, en las últimas décadas se han generado inconvenientes con el tratamiento de este tipo de residuos. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, anualmente se producen entre 20 y 50 millones de toneladas de desechos electrónicos en el mundo. Tan solo en Colombia, se desecharon entre 6.000 y 9.000 toneladas de computadores, monitores y otros componentes similares en el año 2007 (Ministerio de Ambiente, 2014).

Desde el año 2010, en Colombia se trabaja en la promulgación y la consolidación de normativas que ayuden a mitigar el efecto negativo que producen los desechos electrónicos dentro de nuestro medio ambiente. En la actualidad, existen campañas de recolección destinadas a captar los residuos electrónicos producidos a través de computadores y tabletas, aunque estos proyectos tan solo han logrado recuperar el 25% de la cantidad inicial de dispositivos de este tipo que se comercializan diariamente en el país (Montenegro, 2014). Dentro de los programas de reciclaje también se han incluido a las principales empresas fabricantes de computadores y herramientas tecnológicas, algunas marcas como Hewlett-Packard (HP), han tenido que comprometerse con las entidades gubernamentales para aportar recursos destinados al tratamiento de estos materiales.

En la resolución 1512 de 2010, el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia reglamentó el pos consumo de computadores en Colombia, dejando claro que corresponde a los productores, ya sea fabricantes o importadores de estos elementos, implementar los sistemas de recolección selectiva, bajo la vigilancia y el control de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, ANLA (Montenegro, 2014). Estos materiales, son residuos con contenidos tóxicos y contaminantes que requieren un manejo especial para reutilizar metales, como el oro, la plata o el cobre, y evitar los perjuicios que generan otros, como el cadmio, el plomo o el mercurio (MADS, 2014).

Dentro de los desechos que se pueden encontrar en los residuos electrónicos predominan dos tipos específicos, los metales y los polímeros. En el caso particular de los metales, estos son fácilmente reutilizables debido a su alto valor comercial. Por otra parte, los desechos de tipo plástico pueden tardar en degradarse entre 100 y 1000 años dependiendo de cuál sea su composición.

A partir de la problemática anteriormente mencionada, surge la necesidad de encontrar una nueva utilidad para este material toxico que tarda centenares de décadas en descomponerse totalmente. Específicamente, la solución planteada consiste en el reciclaje del material plástico procedente del proceso de separación y trituración de las carcasas y componentes plásticos de esos residuos electrónicos y su implementación en la realización de concreto (Figura 2).

Esta mezcla de concreto realizada a partir de la combinación de agregados finos minerales, pasta de cemento elaborada a partir de polvo de cemento convencional y una combinación de agregado grueso mineral y los desechos plásticos

anteriormente mencionados contempla una serie de beneficios con respecto a los concretos elaborados a partir de materiales netamente convencionales. Inicialmente, el concreto elaborado con porcentajes de agregado plástico no convencional, resulta significativamente económico con respecto al concreto convencional, considerando que el material usado como agregado plástico extraído de los desechos electrónicos no conlleve gastos de recolección, es decir que la elaboración de este tipo de concreto resulta rentable siempre y cuando se cuente con una fuente propia de materia prima a partir de la cual sea posible obtener el material usado como reemplazo del agregado mineral convencional. En el caso particular de este estudio, el agregado plástico empleado se obtuvo de la molienda de las carcasas de los computadores desechados por la Universidad de la Costa CUC, que se encontraban acopiadas en las instalaciones de la Universidad debido a los inconvenientes generados para la disposición de este tipo de desechos.



Figura 2. Recolección de desechos tecnológicos en Colombia. Fuente: (El Espectador, 2012).

Se ha encontrado que este tipo de concreto también es capaz de aportar beneficios estructurales, debido a la disminución en el peso que este presenta con respecto al concreto elaborado a partir de materiales convencionales. En cuanto a la resistencia final de esta mezcla con agregados plásticos, se espera que disminuya notablemente con respecto al concreto convencional.

Es de aquí de donde surge la principal pregunta problema de la actual investigación ¿Es posible realizar una mezcla de concreto elaborada a partir de materiales plásticos obtenidos mediante el reciclaje de desechos electrónicos que cumpla con los requerimientos de resistencia y durabilidad estipulados en la Norma sismo resistente NSR-10? De obtenerse un resultado positivo en esta investigación podría facilitarse en gran medida la elaboración de viviendas de interés social, reduciendo los costos de producción y haciéndolas más accesibles para los cerca de 2,2 millones de personas que actualmente no cuentan con vivienda propia en el país (Figura 3).



Figura 3. Tipología de vivienda de interés social típica en Colombia. Fuente: RTVC

(Sánchez, 2015)

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1. DESECHOS E-WASTE

El acrilonitrilo butadieno estireno o también llamado ABS es un compuesto comúnmente encontrado en la elaboración de las carcasas de computadores y demás dispositivos electrónicos debido a que este material termoplástico presenta un excelente comportamiento mecánico y una excepcional capacidad de resistir los ataques químicos, todas estas propiedades fueron desarrolladas con el fin de aportar resistencia y durabilidad a los materiales elaborados a partir de este compuesto. En la Figura 3 puede observarse la simbología usada para identificar los elementos fabricados a partir de polímeros de tipo ABS. De acuerdo con la dosificación propia de los componentes de plástico tipo ABS, varían las propiedades finales del material producido.

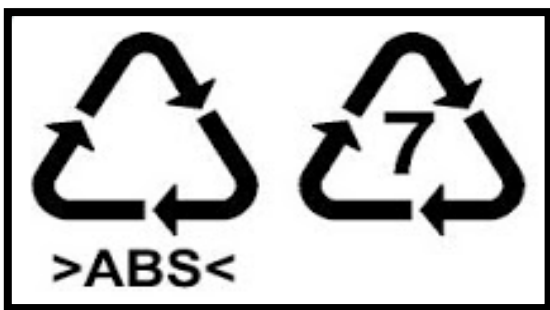


Figura 4. Simbología empleada por fabricantes para indicar que un producto fue fabricado a partir de plástico ABS según la norma

ISO 11469.

En la Tabla 1 se muestran las distintas propiedades aportadas por cada uno de los componentes que intervienen en el proceso de producción del acrilonitrilo butadieno estireno.

COMPUESTO	PROPIEDAD OTORGADA
ACRILONITRILO	Resistencia Térmica.
	Resistencia Química.
	Resistencia a la Fatiga.
	Dureza y rigidez.
BUTADIENO	Ductilidad a Baja temperatura.
	Resistencia al impacto.
	Resistencia a la Fusión
ESTIRENO	Facilidad de procesado (Fluidez).
	Brillo.
	Dureza y Rigidez.

Tabla 1. Propiedades de los compuestos de los polímeros tipo ABS (Bucknall, 1977).

Se esperaría que las excelentes propiedades mecánicas y la resistencia ante ataques químicos que proporcionan los componentes del plástico ABS aporten

mejorías al comportamiento mecánico del concreto ante la aplicación de las cargas, aunque para corroborar esta premisa deben analizarse los resultados de resistencia a la compresión realizados, puesto a que la interacción entre los agregados de tipo plástico E-WASTE y la matriz cementante no presentan la misma adherencia generada entre los agregados de origen mineral y la pasta de cemento que se produce en el concreto convencional. En la Tabla 2, se muestran los resultados obtenidos al aplicar los ensayos de caracterización al plástico tipo ABS.

PRUEBA DE			
PROPIEDAD	ENSAYO ASTM	UNIDAD	ABS
Gravedad Específica.	D792	-	1.04
Módulo de Flexión.	D790	psi	340000
Dureza de Rockwell	D785	-	R105
Módulo de Tensión.	D638	psi	310000
Temperatura de Deflexión Bajo carga de 66 psi.	D648	°F	214
Temperatura de Deflexión Bajo carga de 264 psi.	D648	°F	203

Tabla 2. Propiedades Mecánicas y Térmicas de los plásticos ABS (TECARAN, 2017).

Comúnmente en la producción de diversos artículos para el hogar también se emplea el PC/ABS o también llamado policarbonato/acrilonitrilo butadieno estireno, este es el producto resultante de la mezcla entre el policarbonato y el ABS, este material tiene un mejor comportamiento mecánico que el plástico ABS puro. En la Figura 5 se muestra el símbolo usado para identificar el policarbonato.



Figura 5. Simbología empleada por fabricantes para indicar que un producto fue fabricado a partir de plástico PC según la norma ISO 11469.

4.1.2. GENERALIDADES DEL CONCRETO.

El concreto se define como el material resultante de la mezcla de un material aglutinante (cemento Portland), un material de relleno (agregados finos y gruesos), agua y si es necesario algún tipo de aditivo. Posteriormente, al endurecerse se forma un todo compacto (piedra artificial) que después de un cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Sanchez De Guzman, 2011)

En los últimos tiempos el concreto se ha convertido en el material de construcción más utilizado, debido a su excepcional comportamiento ante esfuerzos de

compresión y su gran versatilidad en cuanto a la forma de los elementos que se pueden fabricar a partir de él. El proceso de elaboración del concreto ha variado a través de la historia, la industrialización y el estudio de los materiales utilizados en su producción han mejorado paulatinamente las propiedades finales del polvo de cemento a partir del cual se elabora la mezcla de hormigón.

No es posible afirmar con total certeza, el momento exacto en la historia de la humanidad en el que se produjo por primera vez la pasta de cemento y se utilizó como material de construcción. Algunos autores afirman, que la fabricación de la primera pasta de cemento se dio de manera accidental, mientras el hombre primitivo empleaba fogatas rodeadas de piedra caliza y yeso realizadas a partir de trozos de madera para cocinar sus alimentos. Se cree, que el intenso calor al que se sometía las piedras, termino por deshidratar y carbonatar parte de estas y posteriormente, cuando se procedía a apagar el fuego de la fogata empleando agua o con la caída de una leve lluvia, el material previamente carbonatado se hidrataría y se produciría así la primera pasta de cemento.

Se cree, que la incursión del hombre en el uso de materiales cementantes se remonta al año 2690 a.c en el antiguo Egipto, en donde se usó mortero elaborado a partir de yeso calcinado impuro y arena para pegar los enormes bloques de piedra usados en la construcción de la pirámide de Gizeh. Posteriormente, en la antigua Grecia se empleaban morteros realizados a partir de cal viva, arena y agua como material de construcción. Seguidamente, se adicionaron a la mezcla anteriormente mencionada trozos de piedra triturada, tejas y ladrillos, dando así origen al primer concreto de la historia.

Con el paso del tiempo, estas técnicas fueron paulatinamente mejoradas, se incursionó en el uso de un sin número de diferentes materiales para ser usados en la elaboración de concreto y así obtener una mezcla final con alta resistencia y durabilidad. Fue así, como se descubrió que los concretos elaborados a partir de arena proveniente de ciertas rocas volcánicas tenían un mejor comportamiento al encontrarse en presencia de agua dulce o salada y resistían de forma eficaz el desgaste originado por el tiempo y el intemperismo, gracias a estos avances tecnológicos que permitieron a nuestros ancestros mejorar notablemente los materiales de construcción de la época, hoy en día podemos seguir apreciando estructuras representativas de la época como el Panteón Romano, el coliseo, la Basílica de Constantino, el puente de Gard y muchas más construcciones icónicas.

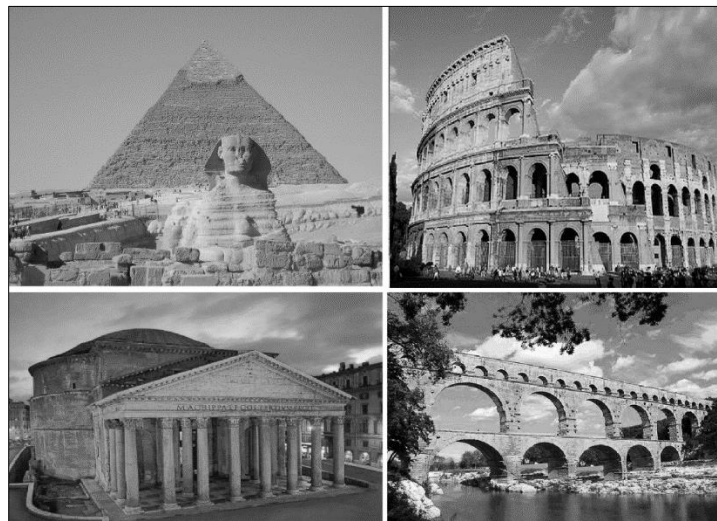


Figura 6. Obras de la antigüedad en las que se empleó mortero de pega o Concreto. Fuente: (Hanser, 2006; Hopkins & Beard, 2006; Matthew, 2013).

En los siglos posteriores, no se realizaron descubrimientos relevantes en el campo del estudio de las propiedades del concreto. No fue sino hasta el siglo XVIII, cuando los aportes realizados por los constructores Británicos Jhon Smeaton y Joseph Aspin mejoraron notablemente la calidad del concreto realizado hasta ese entonces. El trabajo de Aspin se centró particularmente en el estudio de los materiales empleados en la producción del polvo de cemento, en el año 1824 Aspin calcinó en un horno una mezcla de tres de piedra caliza por una de arcilla, la cual molió y pulverizó, creando así la patente del cemento Portland empleado aún hoy en día.

En décadas posteriores, el inglés Isaac Johnson añadió el proceso de clinkerizado al método de elaboración de polvo de cemento de Aspin. El procedimiento final formulado por Johnson posteriormente se empleó en los primeros procesos de producción industrial de cemento Portland. Los aportes realizados por los químicos Franceses Vicat y Le Chatelier y el Alemán Michaelis a inicios del siglo XIX, permitieron obtener un producto homogéneo que podía ser utilizado en la industria de la construcción. Tras el desarrollo del concreto reforzado durante el siglo XVIII, se amplió significativamente la variedad de elementos estructurales que podrían ser creados a partir de mezclas de concreto, esto debido a la notable mejora en cuanto al comportamiento estructural de los elementos sometidos a esfuerzos de flexión.

Las continuas investigaciones en el campo han seguido generando variaciones en cuanto a los materiales empleados y la dosificación final de cada uno de estos en la producción de mezclas de concreto. La cantidad de cemento, agregado o agua dentro del total del volumen de la mezcla varía según los requerimientos de resistencia del hormigón.

4.1.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.

A continuación, se describirá la función que cumplen cada uno de los componentes del concreto y cuáles son las características de calidad que deben verificarse antes de establecer si son aptos o no para ser empleados en la elaboración de la mezcla.

4.1.3.1. CEMENTO

El cemento portland es un conglomerante hidráulico cuya principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con áridos y agua (*San Juan & Chinchón, 2004*). El cemento, en el sentido más amplio de la palabra hace referencia al material, que tras exponerse a un proceso de hidratación posee las propiedades de adherencia y cohesión necesarias para constituir y conglomerar un conjunto de partículas de materiales agregados.

El cemento Portland, se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como la caliza, y por alúmina y sílice (*Sanchez De Guzman, 2011*) Hoy en día, la mayoría de los cementantes empleados en la construcción, son de tipo Portland y aunque existe una gran variedad de materiales capaces de funcionar como aglomerantes en una mezcla, el cemento Portland debido a su bajo costo de producción y a las propiedades mecánicas del concreto elaborado a partir de él se

ha convertido en el material empleado por excelencia en la industria de la construcción.

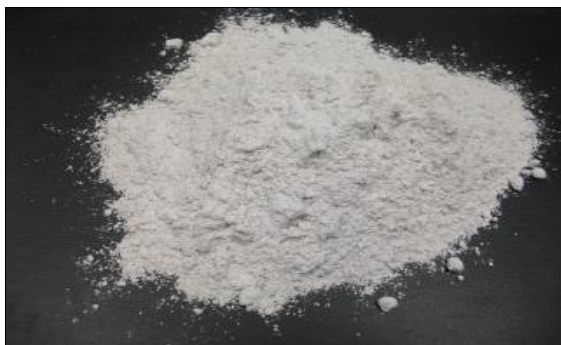


Figura 7. Polvo de cemento. Fuente: (CTH NAVARRA, 2016)

Las investigaciones realizadas en los últimos tiempos, han dado paso a una gran variedad de distintos tipos de cemento (Tabla 3), que se adaptan y dan solución a los inconvenientes ocasionados por la exposición de las estructuras al medio ambientes y los agentes externos generadores de posibles patologías durante su vida de servicio. En la (

Tabla 4) se muestra su composición

Tabla 3. Denominación de los diferentes tipos de cemento Portland.(ICONTEC, 2007)

TIPOS DE CEMENTO	DENOMINACIONES
I	Cemento Portland.
II	Cemento Portland con adiciones.
III	Cemento Portland con escorias de alto horno.
IV	Cemento Pozolánico.
V	Cemento Compuesto.

Tabla 4. Valores típicos de la composición química de los diferentes tipos de cemento Portland. (Sanchez De Guzman, 2011)

CEMENTO	COMPOSICIÓN QUÍMICA EN %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Tipo I	48	27	12	8
Tipo II	40	35	5	13
Tipo III	62	13	9	8
Tipo IV	25	50	5	12
Tipo V	38	37	4	9

En (**Tabla 5**) la se muestran los distintos usos correspondientes a cada uno de los tipos de cemento Portland.

Tabla 5. Uso de los diferentes tipos de cemento Portland(ICONTEC, 2007).

TIPO DE CEMENTO	USO
Cemento Portland tipo 1	Se emplea en obras de construcción en las que no se requiere hormigón con propiedades especiales.
Cemento Portland tipo 1-M	Se emplea en obras de construcción en las que no se requiere hormigón con propiedades especiales. Tiene mejor resistencia que el cemento tipo I.
Cemento Portland tipo 2	Se emplea en obras de construcción en las que el hormigón con tendrá exposición moderada a sulfatos y en donde se requiera moderado calor de hidratación.

Cemento Portland tipo 3	Se emplea en obras de construcción en las que se requiere que el hormigón desarrolle altas resistencias iniciales.
Cemento Portland tipo 4	Se emplea en obras de construcción en las que se requiere que el hormigón desarrolle bajo calor de hidratación.
Cemento Portland tipo 5	Se emplea en obras de construcción en las que se requiere que el hormigón ofrezca alta resistencia a la acción de los sulfatos.
Cemento Portland blanco	Se emplea en obras de construcción en las que se requiere que el hormigón tenga un color blanco. Su finalidad es netamente estética y este se obtiene a partir de materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca al polvo de cemento.
Cemento Portland tipo 1-A	Cemento Portland tipo 1 con incorporador de aire.
Cemento Portland tipo 1-M A	Cemento Portland tipo 1-M con incorporador de aire.
Cemento Portland tipo 2-A	Cemento Portland tipo 2 con incorporador de aire. Presenta moderado calor de hidratación.
Cemento Portland tipo 3-A	Cemento Portland tipo 3 con incorporador de aire.

El cemento que será empleado en la elaboración de la mezcla de concreto que será ensayada en el presente trabajo, será el tipo I debido a que no se requiere ninguna propiedad especial en el material resultante. De esta forma se simularan de manera adecuada los materiales de construcción empleados en la construcción de viviendas de interés social. A continuación (Tabla 6) se muestran las especificaciones químicas y físicas del cemento Portland tipo I (Argos) empleado.

Tabla 6. Especificaciones de los parámetros físicos y químicos del cemento

Portland tipo I (Argos) utilizado en el diseño de mezcla.

ESPECIFICACIONES CEMENTO	
PARÁMETROS QUÍMICOS	TIPO 1
Óxido de magnesio, MgO, máximo (%)	6
Trióxido de azufre, SO ₃ , máximo (%)	3.5
PARÁMETROS FÍSICOS	ESPECIFICACIONES CEMENTO
	TIPO 1
Fraguado inicial, mínimo (minutos)	45
Fraguado final, máximo (minutos)	420
Expansión autoclave, máximo (%)	0.8
Expansión en agua, máximo (%)	0.02
Resistencia a 3 días, mínimo (Mpa)	9
Resistencia a 7 días, mínimo (Mpa)	16
Resistencia a 28 días, mínimo (Mpa)	26
Blaine, mínimo (cm ³ /gr)	2800

4.1.3.2. AGUA

El agua ocupa un papel fundamental en el concreto debido a que este es el medio que hace reaccionar al cemento durante su estado plástico, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los demás ingredientes, se debe tener en cuenta que el agua juega diversos papeles en la realización de concreto, la cual podemos clasificar en agua de mezclado y agua de curado.

El agua cumple un papel fundamental durante todo el proceso de elaboración de hormigón. Inicialmente, durante la fase de mezclado se define como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese

volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.(Sánchez De Guzman, 2011); de igual forma esta agua de mezclado se distribuye en agua de hidratación la cual es la parte que hace reaccionar químicamente al cemento; el agua evaporable, se encuentra en la pasta del cemento pero no se encuentra libre en su totalidad debido a que el gel del cemento ejerce una atracción molecular sobre esta; el agua de adsorción o agua activa se encuentra adherida a la superficie del gel por fuerzas intermoleculares; el agua capilar se encuentra en los poros capilares de la pasta y el agua libre la cual está fuera de influencias de las fuerzas de la superficie permitiéndole evaporarse con facilidad. En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas, a saber: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable (Sanchez De Guzman, 2011)

Posteriormente, durante la fase de curado, el agua representa un factor fundamental para que la mezcla de concreto alcance la resistencia final deseada. El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Estas propiedades se refieren básicamente a la humedad y temperatura(Sanchez De Guzman, 2011), el agua de curado constituye el suministro de agua para hidratar el cemento. Esta agua de curado depende de la humedad del medio en donde se realice el concreto. Existen diversos métodos para curar los elementos de concreto, es posible apreciar algunos de los más comúnmente empleados en el campo de la construcción, en la parte

izquierda (**a**) se encuentra el rociado directo al concreto y a su derecha se puede observar el proceso de curado de una columna de concreto mediante la implementación de mantas saturadas de agua (**b**). Estas últimas retienen el agua y mantienen la humedad de hidratación por un periodo más prolongado. El curado por inmersión, aplicado a los cilindros de concreto y descrito en la Norma NTC 1377 (ICONTEC, 1994), este método resulta ser el más eficaz y con él se garantiza que la mezcla tendrá la cantidad de humedad requerida para alcanzar la resistencia final durante toda la fase de curado. De acuerdo a como se establece en la norma anteriormente mencionada, el proceso de curado implementado para el estudio de la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto será por inmersión.

El agua de curado debe cumplir con requisitos para ser utilizada para tal fin y esto se corrobora a partir de ensayos tales como:

- Calcio y magnesio en el agua- Norma ASTM D-511
- Cloruros, como ion Cloro – Norma ASTM D-512
- Sulfatos, como SO₄ - Norma ASTM D- 516
- PH del agua Norma ASTM D-1293
- Acidez y alcalinidad del agua Norma ASTM D-1067
- Definición de términos relativos al agua Norma ASTM D-1129
- Partícula y materias disueltas en agua Norma ASTM D-1888

De acuerdo con la (Tabla 7). Las tolerancias máximas de concentración de impurezas en el agua de mezclado de concreto o mortero son:

Tabla 7. Tolerancia de concentraciones de impurezas en el agua de mezclas
(Sanchez De Guzman, 2011).

IMPUREZAS	MÁXIMA CONCENTRACIÓN TOLERADA	
Carbonatos de sodio y potasio.	1.000	Ppm
Cloruro de sodio.	20.000	Ppm
Cloruro, como cl (concreto pre esforzado)	500	Ppm
Cloruro, como cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares o galvanizados	1.000	Ppm
Sulfato de sodio	10.000	Ppm
Sulfato, como SO ₄	3.000	Ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400	Ppm
Cloruro de magnesio	40.000	Ppm
Sulfato de magnesio	25.000	Ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%	
Sales de hierro	40.000	Ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500	Ppm
Sulfito de sodio.	100	Ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico.	10.000	Ppm
pH	6,0 a 8,0	
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0,5%	
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto).	1,2%	
Azúcar	500	Ppm
Partículas en suspensión.	2.000	Ppm
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto).	2%	
Agua con algas.	0	
Materia orgánica.	20	Ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado).	35.000	Ppm
Agua de mar para concreto reforzado o pre esforzado.	No recomendable	

4.1.3.3. AGREGADOS

Las propiedades físicas de la mezcla de concreto en estado fresco y endurecido dependen en gran medida de las propiedades de los agregados empleados en la realización de la mezcla.

Para la selección de los agregados deben tenerse en cuenta una serie de parámetros para establecer si la calidad de los materiales a utilizar es apta para la realización de una mezcla de concreto. La adherencia entre la matriz cementante y los agregados resulta ser un factor fundamental en la determinación de los agregados para un diseño de mezcla, esta depende en gran medida de la porosidad y la morfología de los materiales. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás constituyentes del concreto.

Los agregados son los mayores constituyentes de la mezcla de concreto, aproximadamente constituyen el 70% de la mezcla y dependiendo de su calidad y propiedades hacen que el concreto sea un material económico para la construcción.

Los agregados tienen su origen como producto de los procesos naturales por los que ha pasado la tierra durante todo su proceso evolutivo, teniendo en cuenta factores como la temperatura y presión así como los efectos de meteorización o intemperismo y erosión. A partir del historial geológico (Figura 8) de la tierra se pueden definir los agregados en tres grupos cíclicos de permanente actividad.

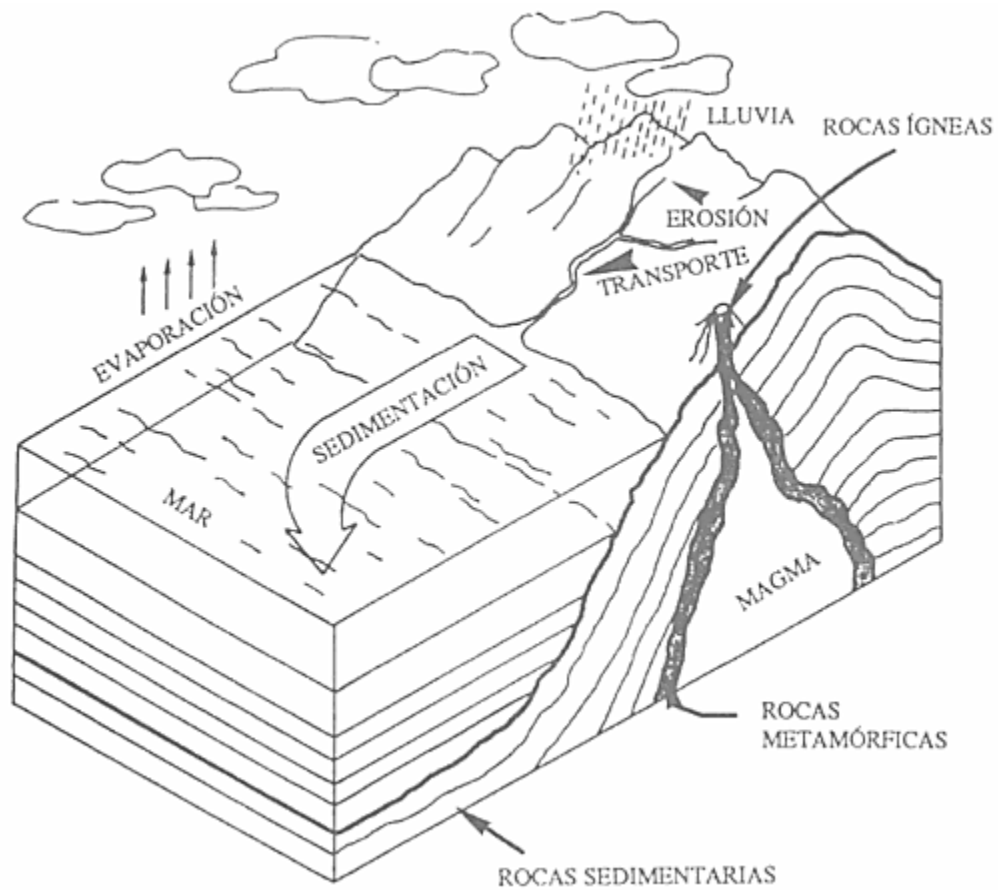


Figura 8. Ciclo Geológicos de las Rocas (Borrego Aguayo J., 1994).

4.1.4. MATERIALES NO CONVENCIONALES UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO.

Tal y como se describe en el planteamiento del problema, en la actualidad una gran cantidad de investigaciones se encuentran enfocadas en la determinación de alternativas para dar solución a los inconvenientes generados en reutilización y el reciclaje de los desechos resultantes de la actividad humana. Específicamente en

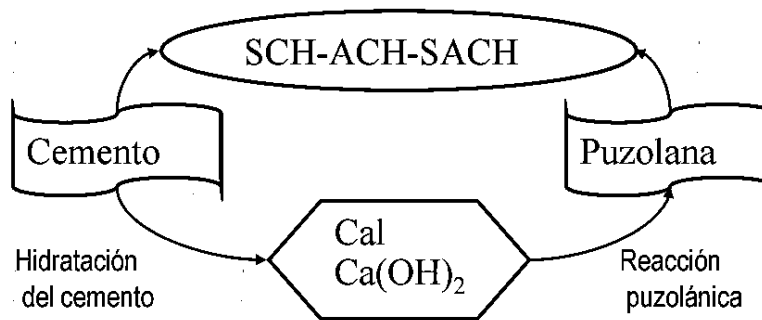
el campo de la construcción se han realizado incontables investigaciones con el fin de obtener materiales innovadores cuyas propiedades permitan ser reemplazados o combinados a los materiales usados convencionalmente y obtener así mejoras en las propiedades mecánicas del concreto o aumentar su comportamiento ante la acción de agentes químicos.

Sería imposible realizar un recuento de todos los materiales empleados en la investigación de las propiedades del concreto hasta la fecha, a continuación se muestra un recuento de los agregados “no convencionales” más relevantes empleados en la actualidad.

4.1.4.1. PUZOLANAS

Las puzolanas son materiales inorgánicos (silíceos o silicoaluminosos), ya sean naturales o artificiales, los cuales se endurecen al entrar en contacto con el agua de la mezcla, con hidróxido cálcico y con materiales como el cemento Portland (Figura 9). No deben ser considerados como agregados debido a que estos actúan como aglomerantes y cumplen funciones específicas del polvo de cemento.

*Figura 9. Reacción pasta de cemento (hidróxido de calcio) vs Puzolana.
(Balbuena, 2012)*



El polvo resultante de la trituración de las puzolanas puede ser reemplazado en base al 10% - 40% de la cantidad de cemento Portland. Las ventajas técnicas y económicas que conlleva la utilización de las puzolanas dentro de las mezclas de concreto son numerosas y hacen pensar que este material tiene una gran proyección dentro del campo de la construcción.

Algunas de los beneficios que se pueden obtener al incorporar este novedoso material al polvo de cemento son:

- Disminución en los costos de producción de concreto con respecto al concreto convencional realizado netamente a partir de cemento Portland.
- Mejor trabajabilidad en la mezcla de concreto.
- Disminución en la segregación de los agregados de la mezcla de concreto.
- Disminución en la Exudación.
- Disminución en el calor de hidratación.
- Fraguado más lento (menor fisuración).

- Mayor valor de la relación tracción/compresión.
- Mayor resistencia a largo plazo.
- Disminución en la permeabilidad.
- Mayor durabilidad en general a ataques por sulfatos y reacciones expansivas.

4.1.4.2. CÁSCARA DE ARROZ

La cascarilla de arroz es un desecho agroindustrial que se produce en grandes volúmenes en las zonas donde se cosecha este cereal. Los beneficios del uso de la cascarilla de arroz como material de construcción son múltiples, es posible apreciar un aumento considerable en la resistencia a la compresión así como un mejor comportamiento ante el ataque de agentes químicos. Cabe resaltar que para poder usar la cascarilla de arroz como material puzolanico es necesario realizar una previa separación entre los componentes orgánicos e inorgánicos del mismo debido a que los componentes del polvo de cemento Portland convencional son netamente inorgánicos y su combinación con materiales de tipo orgánicas podría ocasionar efectos adversos a los deseados en el resultado final obtenido. En el 2009 (Mafla, 2009) realizo una investigación acerca del uso del SiO_2 como material puzolanico.

4.1.4.3. CONCRETO FLEXIBLE ULTRARESISTENTE

El concreto flexible ultrarresistente (Figura 11) es un material innovador desarrollado en la Universidad de Michigan Ann Arbor, este material elaborado a partir de la incorporación de arena sílicea de 100 micrones de tamaño y pequeñas fibras de polivinil-alcohol con una capa de recubrimiento. Este concreto es ideal para ser utilizado en construcciones realizadas en zonas con alta amenaza sísmica, debido a que las fibras lubricadas no se rompen sino que se trasladan al someterse a grandes esfuerzos.

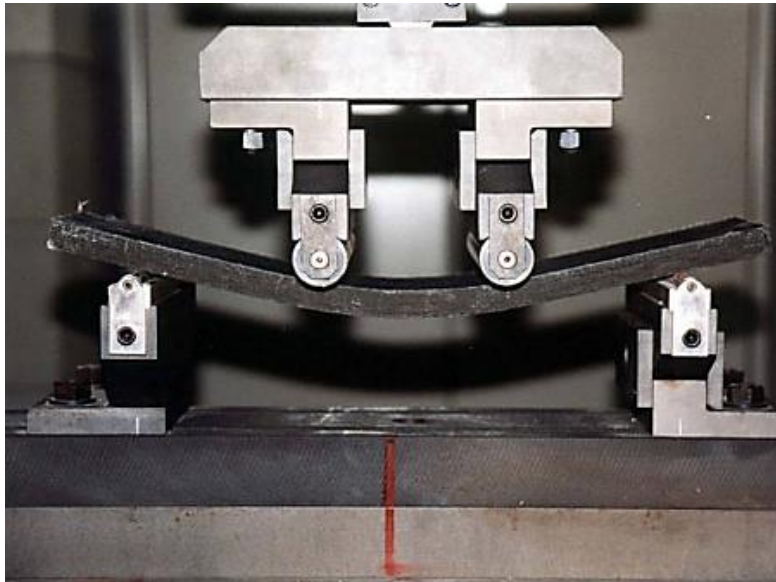


Figura 10. Concreto flexible ultrarresistente sometido a ensayo de carga por flexión. (PRAGMACERO, 2014)

4.1.4.4. CONCRETO RECICLADO

Anualmente en el mundo se producen 1 billón de toneladas de residuos de demolición, de las cuales 510 millones son producidos en Europa (BLOG 360° EN CONCRETO, 2015). Estos restos, son transportados diariamente hasta los rellenos sanitarios donde son finalmente acopiados, generándose así inconvenientes ambientales. Una posible solución a esta problemática sería la reutilización de los escombros como agregados en la realización de nuevas mezclas de concreto en las que el material previamente seleccionado y transportado (Figura 12) se tritura (Figura 13) y posteriormente se mezcla con el material cementante y agregados de tipo mineral (convencionales).

Cabe aclarar que el uso de concreto reutilizado debe ser previamente aprobado por los ingenieros estructurales en toda construcción. Este material generalmente se usa para estructuras que requieran concreto de baja resistencia en cimentaciones y los costos de producción del concreto reciclado son significativamente inferiores a los del concreto realizado convencionalmente.



Figura 11. Ruptura y transporte del Concreto reciclado. (BLOG 360° EN CONCRETO, 2015)



Figura 12. Trituración de fragmentos de concreto reciclado. (BLOG 360° EN CONCRETO, 2015)

4.1.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.

Durante la realización de las mezclas de concreto se hace indispensable verificar las propiedades del concreto en estado fresco, debido a que la calidad final de los elementos de construcción elaborados dependen en gran medida de las características de la mezcla en estado fresco (plástico). De igual forma, gracias a la medición de las propiedades del concreto en estado fresco es posible prever la generación de fenómenos como la segregación y la exudación.

La segregación del hormigón (Figura 14) es el fenómeno que se presenta en las mezclas de concreto como consecuencia de una concentración insuficiente de la pasta, la mala gradación de los áridos o una mala distribución de las partículas debido a inconvenientes en el mezclado. Al presentarse el fenómeno de segregación, las partículas gruesas se separan del mortero ocasionando así una heterogeneidad y una posterior diferencia de densidades en el concreto endurecido.



Figura 13. Segregación de agregados en concreto endurecido. (ldb, 2015)

Por su parte la exudación (Figura 15) hace referencia a la pérdida de humedad de la mezcla de concreto en estado fresco. Este fenómeno se genera como consecuencia de los mismos principios físicos que dan origen a la segregación de los agregados antes mencionada, debido a que la diferencia entre las densidades de los diferentes componentes que hacen parte de una mezcla de concreto terminan por decantar hacia el fondo a los agregados más densos y expulsar hacia la superficie el agua de mezcla. Como consecuencia de este proceso, parte del volumen de agua destinada a consumirse durante el proceso de calor de hidratación de la pasta de cemento se pierde por evaporación y no cumple su función dentro de la mezcla. Como consecuencia de esto, al endurecerse la mezcla, se generan fisuras y una disminución en la resistencia y la durabilidad esperada.



Figura 14. Segregación de agregados en concreto endurecido. (ldb, 2015)

4.1.5.1. MANEJABILIDAD

De acuerdo con el comité 211 de ACI, la manejabilidad o también llamada trabajabilidad hace referencia a aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación dañina alguna.

De igual forma cabe aclarar que no existe ningún parametro de medición mediante el cual se pueda establecer la manejabilidad de una mezcla de concreto en estado fresco. La evaluación de la manejabilidad resulta ser relativa y depende netamente de las facilidades mecanicas y manuales de las que se dispongan a la hora de realizar la mezcla.

Actualmente, el metodo mas eficaz existente mediante el cual es posible correlacionar la manejabilidad de las mezclas de concreto en estado fresco es a travez del ensayo de cono de Abrams (Figura 16) El procedimeinto para el desarrollo de este metodo se describe en la Norma NTC 396 (Figura 17).

Se requiere que el ensayo para la determinación del asentamiento del concreto mediante el cono de Abrams se realice en cada proceso de mezcla con el fin de corroborar que el asentamiento real obtenido en campo se encuentre dentro de los parametros establecidos previamente en el diseño de mezcla.

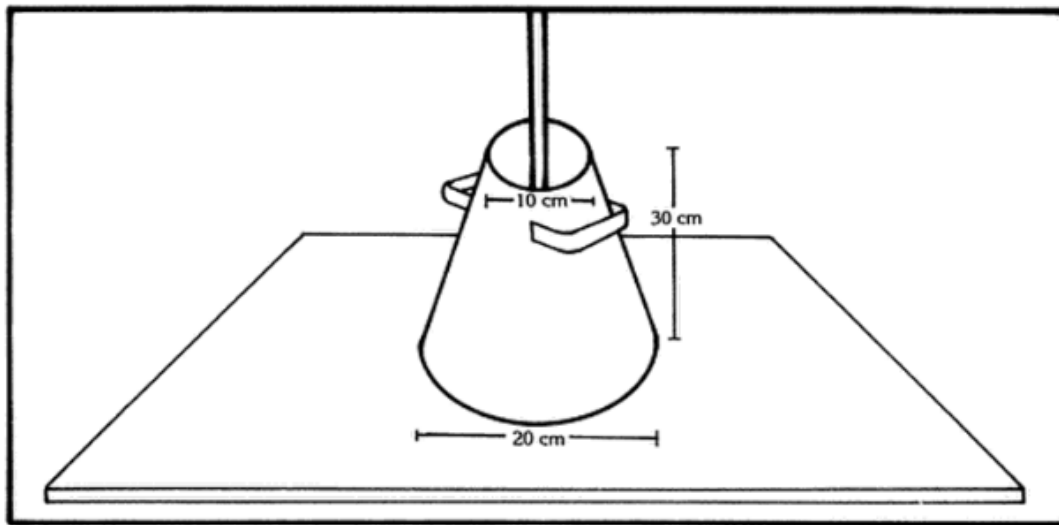


Figura 15. Cono de Abrams. (Sanchez De Guzman, 2011)



Figura 16. Ensayo de Cono de Abrams para la determinación del asentamiento del concreto.

La selección del tipo de asentamiento varía de acuerdo al tipo de elemento a construir y la disposición de los agregados. En la Tabla 8, se muestran los valores teóricos recomendados para el asentamiento de la mezcla de concreto en estado fresco para los diversos tipos de estructura a realizar.

En el caso del diseño de mezcla realizado en la presente investigación, el rango de asentamiento seleccionado es de 3" a 4" (7,62 cm a 10,16 cm). Como criterio base para la determinación del asentamiento de la mezcla, debe tenerse en cuenta el tipo de estructura a realizar, debido a que la forma y las dimensiones de la estructura, así como la disposición de los refuerzos empleados en la misma requieren un tipo específico de fluidez por parte de la mezcla, de esta forma se garantiza que el material llene por completo el espacio para el que fue destinado.

En el campo de la investigación, en los últimos tiempos se han realizado varias investigaciones encaminadas en determinar los beneficios de la implementación del concreto auto compactante. Este concreto debido a su fluidez en estado plástico proporciona una mejoría del 25 – 75 % de las imperfecciones encontradas en la superficie del concreto mejorando la calidad estética y la exposición ante agentes químicos del ambiente, por otra parte al omitirse el proceso de vibración mediante herramientas operadas por los obreros, se disminuyen los riesgos asociados a la utilización de este tipo de dispositivos y se anularan por completo los costos requeridos para la realización de dicha actividad. En la investigación titulada "Experimental study on local bond stress-slip relationship in self-compacting concrete" (Sabău, Pop, & Oneț, 2016) se pretende establecer los beneficios que aporta la implementación del concreto autocompactante en la adherencia producida entre la matriz cementante del concreto y las barras de acero usadas como refuerzo.

Tabla 8. Asentamientos recomendados para cada tipo de obra.

SLUMP		
TIPO DE ESTRUCTURA	MÁXIMO	MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados.	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras.	3"	1"
Vigas y muros armados.	4"	1"
Columnas.	4"	2"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"
Notas:		
1) El Slump puede incrementarse cuando se usan aditivos, siempre que no se modifique la relación agua cemento ni exista segregación ni exudación.		
2) El Slump puede incrementarse e 1" si no se usa vibrador en la compactación.		

4.1.5.2. CONSISTENCIA

La consistencia, está íntimamente ligada a la manejabilidad aunque ambos son términos totalmente opuestos. Al igual que la manejabilidad, la consistencia de la

mezcla de concreto en estado fresco también depende del grado de humedad y la relación agua cemento empleada en la dosificación de la mezcla. En términos generales se podría definir la consistencia como al estado de fluidez de la mezcla, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla cuando se encuentra en estado plástico. (Sanchez De Guzman, 2011).

4.1.5.3. PLASTICIDAD

Se denomina como “plasticidad” a una consistencia del concreto tal que pueda ser fácilmente moldeado, pero que le permita al concreto fresco cambiar de forma lentamente si se saca del molde (Sanchez De Guzman, 2011). Por este motivo no deben ser consideradas como mezclas de consistencia plásticas aquellas que tienen una consistencia muy fluida o muy seca.

4.1.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.

El endurecimiento de la mezcla, es un proceso químico que se genera de forma paulatina, este proceso se genera como consecuencia de la reacción entre la pasta de cemento y el agua de mezcla (fraguado).

El fraguado del concreto se divide en dos etapas, llamadas fraguado inicial y fraguado final. El fraguado inicial corresponde a la etapa de mezclado en la que comienzan a presentarse pérdidas en la plasticidad y el concreto pierde trabajabilidad (manejabilidad). Conforme la mezcla continúa su proceso de endureciendo, esta llegará a su segunda etapa alcanzando una dureza tal que la mezcla estará ya en su fraguado final.

Las propiedades del concreto endurecido dependen directamente de las propiedades de la mezcla en estado fresco, es por ello que la realización de un riguroso control de calidad a la mezcla en estado plástico garantiza que las propiedades del concreto en estado endurecido sean las esperadas. Las principales propiedades del concreto en estado endurecido son la resistencia y la durabilidad. Estas propiedades se correlacionan con la densidad de los elementos de concreto y de igual forma la resistencia es proporcional a la durabilidad del concreto.

La relación entre la durabilidad del concreto y su densidad se genera como consecuencia del grado de permeabilidad que esté presente, es decir que un concreto durable es aquel que posee una alta permeabilidad como consecuencia de su densidad. En un concreto con algo grado de permeabilidad, la exposición a agentes contaminantes se reduce significativamente.

En el caso de la investigación en curso, la densidad de los cilindros de concreto elaborados no podría ser usada para correlacionar la durabilidad del concreto con base a las densidades teóricas del concreto convencional puesto que el uso de agregados plásticos como sustituto del agregado convencional conllevará a una disminución en cuanto a la densidad de la mezcla, pero dicha disminución no será

propia de inconvenientes en la elaboración de la mezcla de concreto o de una mala dosificación de los materiales, sino que por el contrario resultara por la significativa diferencia que existe entre la densidad de los agregados usados convencionalmente y los agregados plásticos empleados.

4.1.7. RESISTENCIA DEL CONCRETO.

A pesar de los diferentes estudios realizados al concreto, aun no se establece una relación directa o una ley fundamental que valide y reafirme el comportamiento del concreto bajo los diferentes estados de esfuerzos a los que este es sometido, es por ello que previamente se realiza un diseño de mezclas para obtener un análisis estimado del comportamiento y la resistencia del concreto, la resistencia del concreto depende fundamentalmente de los materiales (agregados) usados para su realización, cada agregado es estudiado de forma independiente y clasificado a partir de sus propiedades inherentes, una vez se posean estos resultados y se mezclen como un material heterogéneo se establece la resistencia del concreto bajo ciertas condiciones de ejecución.

De igual forma no solo las propiedades de los materiales varían la resistencia del concreto, también influyen otros factores tales como el mezclado de los materiales, el transporte, la compactación y el método de curado al que este sea sometido

La resistencia de un concreto, aumenta con la edad o días transcurridos desde su realización, este aumento se produce rápidamente durante los días siguientes a su colocación durante el transcurso del tiempo, y continuara incrementándose de forma más reducida durante un periodo de tiempo indeterminado, se estima que la resistencia a la compresión de un concreto es alcanzada a los 28 días de edad, y viene determinada a partir de los ensayos de normalización técnica.

4.1.7.1. RESISTENCIA A LOS ESFUERZOS SOMETIDOS DEL CONCRETO

- **Resistencia a la Compresión:** Característica mecánica y de durabilidad principal del concreto, los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan principalmente para determinar que la mezcla de concreto cumpla con los requerimientos específicos de resistencia f'_c según el proyecto y viene determinado a partir de la NTC 673 (Figura 18).



Figura 17. Ensayo de Resistencia a la Compresión NTC 673

- **Resistencia a la Tracción:** El concreto tiene muy baja resistencia a la tracción y por lo tanto esta propiedad no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras convencionales. Sin embargo, la tracción tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción inducida por secado o por disminución de la temperatura (Sanchez De Guzman, 2011)

- **Resistencia a la Flexión:** Otra de las características mecánicas del concreto en estado endurecido, que reviste importancia, es su resistencia a la flexión, especialmente en estructuras de concreto simple, tales como pavimentos, en donde adicionalmente aparecen esfuerzos de tracción ocasionados por la flexión de las placas, al paso de los vehículos (Sanchez De Guzman, 2011).

4.1.8. DURABILIDAD DEL CONCRETO.

La durabilidad del concreto se define como la capacidad de resistir los diversos agentes externos que pueden generar deterioros en el concreto, por lo que debe mantener su forma original, calidad y las propiedades intrínsecas de servicio, la durabilidad del concreto se puede ver afectada por diferentes factores ambientales los cuales pueden ser de origen químico o físico:

Agentes químico:

- Ataques por ácido:

Debido a que el cemento no tiene ninguna propiedad de resistir a los ataques del ácido, por ende el concreto es de igual forma débil ante este agente, el concreto se ve expuesto ante diferentes ácidos que se encuentran libres en el ambiente. Los morteros en concreto resultan afectados debido a que las soluciones ácidas reaccionan en primer lugar con hidróxido de calcio y luego con hidro-silicatos e hidro-aluminatos de calcio de cemento endurecido para formar sales de calcio.

- Ataque por sulfatos:

Los sulfatos que se encuentran presente en el suelo o agua potasio, sodio y magnesio son los causantes de que el concreto se deteriore debido a que estos reaccionan químicamente con la cal y al aluminato de calcio hidratado en la pasta del cemento, formando sulfato de calcio y sulfa-aluminato de calcio, dicha reacción provocan expansión, que ocasionan esfuerzo de tracción interna que originan agrietamiento de la masa de concreto.

Para prevenir el deterioro del concreto por acción de sulfatos se utiliza el cemento tipo II o tipo V dependiendo del grado de exposición al agente.

- Reacción álcali-agregado:

Es una reacción química que se presenta entre agregados que contengan (óxido de sílice) y el cemento (hidróxido alcalino) produciendo expansiones,

destrucción de la masa y pérdidas de características resistentes, cualquier agregado que contengan un contenido mayor al 0,6% de concentración de sílice se ve expuesto a presentar una reacción álcali-agregado.

- Carbonatación del cemento:

Este fenómeno sucede cuando el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) presente en la pasta de cemento, en presencia de agua reacciona con el dióxido de carbono (CO_2) produciendo CaCO_3 (Carbonato de calcio), generando así una pérdida de volumen. Esta carbonatación se presenta en la superficie del concreto y su profundidad dependerá de la porosidad de la pasta. Esta reacción conduce al descascaramiento superficial (ASOCRETO, 2010)

Agentes Físicos:

El concreto puede verse alterado por factores tales como el congelamiento o deshielo, donde se presentan cambios por temperatura los cuales afectan el volumen del concreto produciendo expansiones y fisuras volviendo a esta una situación crítica cuando se presenta como un fenómeno cíclico.

De igual manera al presentarse humedecimiento y secado se producen expansiones y contracciones que crean agrietamientos y descascaramiento aumentando la corrosión en los aceros de refuerzo, si el concreto se ve expuesto en movimientos de fluidos se genera fricción o cavitación produciendo un desgaste sobre la superficie del concreto, cuando se aumenta la resistencia a la compresión aumenta la resistencia a la abrasión, si el concreto se ve expuesto o es afectados a

gentes de fuego, el concreto tiene buenas propiedades de resistencia y los daños en este son de carácter bajo, la resistencia al ataque del fuego depende del tipo de cemento, el contenido de humedad y el tipo de agregado utilizado en la mezcla.

Ensayos para evaluar la durabilidad del concreto:

- ASTM C227 (Reacción álcali-silice, combinación de agregados con contenido de sílice)
- ASTM C 586 (Reacción álcali-carbonato)
- ASTM C452 y C1012 (Resistencia a los sulfatos)
- ASTM C418 (Resistencia a la Abrasión-Limpieza con Chorro de arena)
- ASTM C779 (Método de disco giratorio)
- ASTM C944 (Cortadora rotatoria).

4.1.9. PESO UNITARIO Y APARIENCIA DEL CONCRETO.

El peso unitario del concreto, al igual que el de otros materiales, está definido como la cantidad de masa por unidad de volumen y generalmente se expresa en Kg/m³.

Por lo general el concreto convencional tiene un intervalo de pesos unitarios que va desde 2.240 a 2.400 Kg/m³, lo cual depende de la densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y de la cantidad de agua y cemento contenida, que a su vez se encuentran influenciado por el tamaño máximo del agregado (guzman, 2010)

4.1.10. CAMBIOS VOLUMÉTRICOS DEL CONCRETO.

El principal factor de agrietamiento en el concreto se debe a los cambios volumétricos que se presentan a lo largo de su periodo de vida útil, estos cambios se originan por causas internas o externas, restringiendo que cuando el concreto se encuentre bajo esfuerzos no supere la capacidad de resistencia a la tracción y falle produciendo el agrietamiento. Estos cambios se clasifican de acuerdo a la fuente que los produce que pueden ser de origen químico o físico los cuales se encuentran previamente definidos en el literal 4.1.6.

Cuando el concreto se encuentra en fase de curado empieza a perder agua hasta alcanzar un endurecimiento moderado, durante este cambio de estado se producen cambios de volúmenes originando grietas de carácter superficial de severidad baja, sin embargo cuando hay exceso de grietas los poros internos en el concreto con el exterior permiten el paso a los agentes químicos depositándose en estos corroyendo y penetrando la estructura.

Por agentes climáticos el concreto tiende a dilatarse cuando aumenta la temperatura y a contraerse cuando esta baja, los cambios bruscos que se presentan en estas etapas exponen de igual forma al concreto agrietarse dando paso a la exposición a los agentes venéreos

La fluencia se define como un aumento de deformación que se presenta bajo esfuerzos constante, el cual puede ser varia veces mayor que la deformación instantánea causada por la aplicación de cargas, la fluencia depende del contenido

volumétrico de la pasta de cemento, el contenido de agregado y ciertas propiedades del agregado, como el módulo de elasticidad y la porosidad. (ASOCRETO, 2010).

4.1.11. CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.

La calidad del concreto se puede definir como la aptitud de este para satisfacer una necesidad (especificación) definida, al menor costo. (guzman, 2010)

De la calidad del concreto depende muchos factores tales como la resistencia y durabilidad, el proceso de producción de concreto debe ser riguroso y estricto, dependiendo de la utilidad y necesidad que se requiera abarcar, un concreto con baja calidad en su proceso de producción será muy costo para el proyecto del que se requiera; aunque de igual manera un concreto con excesivo control de calidad puede generar mucho desperdicio el cual no es beneficioso para nadie en términos económicos.

El control de calidad en la producción de concreto comienza con la selección de los posibles materiales a componer la mezcla, el cemento deberá cumplir con los requisitos de finura al igual con las especificaciones requeridas según su utilidad, en el caso de los agregados deben ser previamente estudiados para conocer sus propiedades y observar si este se encuentra o no contaminado por el medio y si es viable su utilización según el objeto del proyecto.

4.1.12. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.

Teniendo en cuenta el porcentaje que ocupa cada uno de los componentes del concreto (cemento, agregado fino y grueso, agua y aire); y conociendo el volumen ocupado por ellos en la mezcla, se estima las cantidades y costos de los materiales evitando máximos montos de desperdicio de material, se utiliza un diseño de mezcla para medir y determinar las cantidades necesarias para producir concreto, teniendo en cuenta que este efectúe los parámetros de diseño requeridos para su utilización, cumpliendo con los requisitos de resistencia, trabajabilidad, manejabilidad y durabilidad de la manera más económica. Las proporciones de los materiales que componen el concreto dependen de las características para la cual este fue diseñado salvaguardando los porcentajes de volumen que ocupan dentro de la mezcla.

A lo largo de los años muchos métodos para diseños mezclas se han estudiado, El siglo XX marca una nueva etapa en el conocimiento científico y técnico del material. Fue precisamente el ingeniero francés Rene Feret quien probablemente realizo el primer estudio racional sobre diseño de mezclas de hormigón entre los años 1892-1897, a Feret le siguieron Abrams, Fuller, Weymouth, Thaulow, Walker, Goldbek, Gray, Talbot, etc. quienes cimentaron las bases para la moderna tecnología del hormigón; estos diseños de mezclas en algunos casos presentan similitudes entre las proporciones finales de cada uno, los diseños de mezclas con mayor relevancia a nivel mundial son:

4.1.12.1. METODO A.C.I.

Este método es el resultado de extensas investigaciones, en el campo del hormigón, de varias organizaciones Norteamericanas entre ellas: el A.C.I., P.C.A., U.S.B.R. Se fundamenta en los trabajos experimentales de Andrew Duff Abrams, Richart y Talbot, Goldbeck y Gray. Es un método empírico cuyos resultados han sido confirmados por una amplia información experimental. El procedimiento de diseño se puede realizar ya sea mezclando los materiales por volumen absoluto y luego calculando los pesos de cada uno de los componentes, o, directamente, calculando el peso del hormigón y deduciendo luego el peso de cada uno de los ingredientes, siempre para obtener un metro cubico de hormigón. Ambas formas de cálculo de la mezcla tienen en cuenta todo lo relacionado con la facilidad de colocación, resistencia a la compresión o a la flexión, durabilidad y economía; además tiene una gran ventaja; se puede programar con facilidad para un rápido y practico manejo del método.

4.1.12.2. METODO WALKER

El denominado Método de WALKER se desarrolla debido a la preocupación del profesor norteamericano Stanton Walker en relación con el hecho de que, sea cual fuera la resistencia de diseño del concreto y por tanto su relación agua/cemento,

contenido de cemento y características del agregado fino, la cantidad de agregado grueso era la misma.

Considerando que la relación fino-grueso debería variar en función del contenido de la pasta en la mezcla, así como del perfil y del TMN del agregado grueso, y que otro factor que debería ser considerado era la mayor o menor fineza del agregado fino, el profesor Walker desarrolló una serie de tablas en donde consideró esto último, clasificando al agregado fino como fino, mediano y grueso. Igualmente se considera si el agregado grueso es de perfil redondeado o angular y, para cada uno de los dos casos, se considera cuatro alternativas de factor cemento. Todo ello permite encontrar un porcentaje de agregado fino que se considera como el más conveniente en relación al volumen absoluto total de agregado.

4.1.12.3. METODO FULLER Y THOMPSON

En el año de 1907 Fuller y Thompson seleccionaron una curva granulométrica continua para la composición óptima de los agregados en el hormigón. La ecuación de la curva es, de la forma:

$$Y = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^m$$

Ecuación 1. Ecuación de la Curva Formulada por Thompson.

Dónde: El valor de $m = 0,5$ y el, significado de las otras variables es: $Y = \%$ en peso de agregados que pasan a través del Tamiz de abertura d ; D es: el tamaño máximo del agregado.

4.1.12.4. METODO DE BOLOMEY

En el año 1925, Bolomey propuso una curva granulométrica continua de agregado más cemento, muy similar a la propuesta por Fuller,- Thompson. La curva de Bolomey tiene su aplicación más importante en la dosificación de hormigones masivos (es decir para grandes macizos como en presas, muros de gravedad, vertederos, etc.)

4.1.12.5. METODO DE FAURY

Fue propuesto en el año 1942, como consecuencia de un estudio general del hormigón realizado por Caquot. Faury propone una nueva ley granulométrica de tipo continuo que depende de la raíz quinta del tamaño del agregado ($\sqrt[5]{}$). Su campo de aplicación más importante es en hormigones densamente armados y en estructuras prefabricadas.

La curva granulométrica ideal que conduce a la compacidad máxima del agregado (mínimo de huecos) es prácticamente un diagrama bilineal, distinguiéndose en el hormigón dos clases de agregados: los finos y medios cuyos tamaños son menores que la mitad del tamaño máximo de todos los agregados (menor que $D/2$), y los gruesos con tamaños mayores a $D/2$.

En Colombia los métodos comúnmente utilizados son el A.C.I., siempre y cuando los agregados cumplan con las especificaciones de la norma Icontec 174, dichas proporciones se determinan de manera rápida mediante la aplicación del método A.C.I.- 211.1; cuando los agregados no cumplen con la norma Icontec en mención se recurre a determinar el porcentaje de agregado óptimo a partir de la combinación de los agregados disponibles que produzcan la máxima densidad el cual es el método propuesto por Fuller y Thompson

4.1.12.5. METODO DE FULLER.

Aunque muy poco conocido y poco utilizados por los colombianos, el instituto colombiano de Productores de Cemento ICPC, también cuenta que un método para diseñar mezclas de concreto.

A continuación se procederá a explicar detalladamente el método seleccionado para el diseño de mezcla

4.1.12.6. DISEÑO DE MEZCLA POR EL METODO A.C.I.

Para realizar el diseño de mezcla se debe tener en cuenta diversos factores y parámetros que afectan a la mezcla bajo las condiciones de diseño de la misma, el comité A.C.I-211 estableció una secuencia o una descripción paso a paso para su diseño las cuales dan como resultados las proporciones de cada ingrediente para un metro cubico de concreto, aunque este método está basado en la prueba de “ensayo y error” puede ser ajustado durante su desarrollo.

Paso I “mayoración de la resistencia a la compresión del concreto”

Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada, ver (Tabla 9).

Tabla 9. Mayoración de la resistencia a la compresión de diseño

F'_c	F'_{cr}
Menos de 210	$F'_c + 70$
210 a 350	$F'_c + 84$
Sobre 350	$F'_c + 98$

$F'c$ = Resistencia a la compresión de diseño (kg/cm²)

$F'cr$ = Resistencia promedio a la compresión del concreto requerida para dosificar las mezclas... (Kg/cm²)

Paso II “Selección del asentamiento”

La selección del asentamiento se realiza con base a la Tabla 8. En la tabla se ingresa a partir de la columna llamada “TIPO DE ESTRUCTURA”, en esta debe seleccionarse cuál es el tipo de elemento a construir, posteriormente debe identificarse el rango de asentamiento “SLUMP” correspondiente.

Paso III “Selección del Tamaño Máximo de los Agregados y módulo de finura de la arena”

El tamaño máximo del agregado grueso y módulo de finura de la arena se determina a partir del ensayo de Granulometría, (I.N.V. E – 213 – 07) Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. A partir de practicar este ensayo al agregado grueso se puede determinar el tamaño máximo de agregado grueso

(Tabla 10) y continuar con la determinación de los otros factores que influyen en la realización del diseño de mezclas para determinar la resistencia de concreto deseada.

Tabla 10. Tamaño máximo de agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO								
<i>Pulg</i>	<i>3/8"</i>	<i>1/2"</i>	<i>3/4"</i>	<i>1"</i>	<i>1 1/2"</i>	<i>2"</i>	<i>3"</i>	<i>4"</i>
<i>Mm</i>	<i>9,525</i>	<i>12,7</i>	<i>19,05</i>	<i>25,4</i>	<i>38,1</i>	<i>50,8</i>	<i>76,2</i>	<i>101,6</i>

En la (Tabla 11), se muestran los rangos correspondientes al módulo de finura del agregado fino recomendados por el comité de la ACI (ACI, 1997) para la fabricación de concreto.

Tabla 11. Módulo de finura de la arena

MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA						
<i>1,8</i>	<i>2</i>	<i>2,2</i>	<i>2,4</i>	<i>2,6</i>	<i>2,8</i>	<i>3</i>

Paso IV “Determinación del Contenido de Agua”

Una vez determinado el tamaño máximo del agregado se procede a determinar el contenido de agua (Tabla 12) a partir de este parámetro y el Slump o asentamiento deseado según la consistencia requerida por el proyecto.

Tabla 12 Determinación del Contenido de Agua

SLUMP	TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO								
	<i>Pulg</i>	<i>3/8"</i>	<i>1/2"</i>	<i>3/4"</i>	<i>1"</i>	<i>1 1/2"</i>	<i>2"</i>	<i>3"</i>	<i>4"</i>
	<i>mm</i>	9,525	12,7	19,05	25,4	38,1	50,8	76,2	101,6
concreto sin Aire incorporado									
<i>1" a 2"</i>		207	199	190	179	166	154	130	113
<i>3" a 4"</i>		228	216	205	193	181	169	145	124
<i>6" a 7"</i>		243	228	216	202	190	178	160	-
<i>% Aire atrapado</i>		3,0%	2,5%	2,0%	1,5%	1,0%	0,05%	0,03%	0,02%

Paso V “Selección del Contenido de Aire”

Se tendrá en cuenta si se le incorporará aire o no a la mezcla de concreto

Paso VI “Selección de la Relación Agua/Cemento”

(Resistencia y Durabilidad) Una vez se establezca si la mezcla se le incluirá o no aire, se proceda a establecer la relación agua cemento a partir de **$f'c$ (MPa)** si este valor no encuentre parametrizado se procederá a interpolar entre los rangos establecidos. (Tabla 13).

Tabla 13. Relación Agua-Cemento

RELACIÓN A/C		
$f'c$ (MPa)	Sin Aire	Con Aire
15	0,79	0,71
20	0,69	0,61
25	0,61	0,53
30	0,54	0,45
35	0,47	0,39
40	0,42	-----
45	0,38	-----

Paso VII “Determinación del Factor cemento”

Conocida la relación agua cemento se procede a despejar C, para así determinar el factor cemento a emplear:

$$\frac{A \text{ (Cantidad de Agua de mezcla)}}{C \text{ (Factor cemento)}} = \text{Relación Agua Cemento}$$

Ecuación 2. Relación agua cemento.

Paso VIII “Determinación del Contenido de Agregado Grueso”

Se determinara el contenido de agregado grueso a partir del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura de la arena (Tabla 14). Teniendo en cuenta el resultado del masa unitaria del agregado grueso compactada establecido a partir del ensayo I.N.V. E – 217 – 07

Tabla 14 Tabla determinación de agregado grueso

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO.	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO, POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO, PARA DIVERSOS MÓDULOS DE FINURA DE LA ARENA						
	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
3/8"	0,56	0,54	0,52	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,72	0,7	0,68	0,66	0,64	0,62	0,6
1"	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
1 1/2"	0,82	0,8	0,78	0,76	0,74	0,72	0,7
2"	0,84	0,82	0,8	0,78	0,76	0,74	0,72

3"	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81

Paso IX “Determinación de los volúmenes absolutos de cemento, agua, aire y agregado grueso”. Se determinan los volúmenes absolutos:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Factor Cemento}}{\text{Peso Específico} * 1000}$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Volumen de Agua}}{\text{Peso Específico} * 1000}$$

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{\text{Contenido de Agregado Grueso}}{\text{Peso Específico} * 1000}$$

Ecuación 3. Formulas empleadas para la determinación de las cantidades de Cemento, Agua y Agregado Grueso.

Paso X “Determinación del Volumen Absoluto de Agregado Fino”

Como el diseño de mezcla se basa en el cálculo de 1 m³ de concreto, al conocer el volumen que ocupa cada uno de los materiales (cemento. Agregado grueso, agua, aire) y sabiendo que la arena es un material de relleno, se realiza la respectiva

sustracción para conocer el espacio ocupado por la arena o agregado fino en la mezcla de concreto.

Paso XI “Determinación de la Cantidad de agregado Fino”

Al conocer el volumen que ocupa el agregado fino se procederá a conocer la cantidad de agregado fino en la mezcla

$$\text{Cant de Agregado Fino} = \text{Vol de Agregado Fino} * \text{Peso especifico} * 1000$$

Ecuación 4. Fórmula para la determinación de la cantidad de Agregado Fino.

Paso XII “Corrección de los valores de diseño por humedad propia de los agregados”

Se realizan las correcciones por humedad de acuerdo al contenido de agua propio en cada agregado aplicando las formulas mostradas a continuación:

$$\text{Agregado Fino} = \text{Contenido de Humedad} - \text{Absorción.}$$

$$\text{Agregado Grueso} = \text{Contenido de Humedad} - \text{Absorción.}$$

Ecuación 5. Formulas empleadas para la determinación de la cantidad de Agregado con corrección de humedad.

Paso XIII “determinación de las proporciones en peso de diseño de los materiales”

Se procederá a determinar las proporciones de los materiales a partir de las cantidades en peso de los agregados

$$\frac{\text{Cemento}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Agregado Fino}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Agregado Grueso}}{\text{Cemento}}$$

Ecuación 6. Determinación de las Proporciones de los agregados para un metro cubico de concreto

4.2. MARCO LEGAL

4.2.2. VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL

Las viviendas de interés social están destinadas para aquellas personas que devengan menos de cuatro salarios mínimos mensuales legales vigentes o de escasos recursos, con el fin de garantizar el derecho a la vivienda digna, los proyectos de vivienda de interés social deben garantizar la seguridad a sus inquilinos, debe contar con una estructura resistente ante posibles desastres, los materiales con que estas se construyen deben cumplir con los requisitos necesarios para construcción, debe tener los servicios públicos básicos (agua, electricidad, gas, alcantarillado), debe brindar confort bajo los parámetros de gastos ajustados a un presupuesto y debe contar con un título de propiedad el cual deberá ser entregado al beneficiario.

Se define la vivienda de interés social según el Artículo 88 del Plan Nacional de Desarrollo como:

“Artículo 88. Vivienda de interés social y vivienda de interés social prioritaria”.

De conformidad con el artículo 91 de la Ley 388 de 1997, la vivienda de interés social es la unidad habitacional que cumple con los estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción y cuyo valor no exceda ciento treinta y cinco salarios mínimos mensuales legales vigentes (135 smlmv). (Congreso de la Republica de Colombia, n.d.) De igual forma la Organización de Naciones Unidas ONU declara mediante la oficina del alto comisionado para los derechos humanos

bajo el folleto informativo No. 21(ONU., n.d.) los parámetros de calidad que debe cumplir una vivienda de interés social, además su diseño y construcción deben velar por el uso sostenible de los recursos naturales.

Los derechos Humanos de las naciones unidas, hace parte de los derechos humanos económicos y sociales, el derecho de todo hombre, mujer, joven y niño a acceder y mantener un hogar y una comunidad, seguros de que pueden vivir con paz y dignidad y es un elemento fundamental para la dignidad humana, la salud física y mental y sobre todo la calidad de vida que permite el desarrollo del individuo.

En toda vivienda se deben considerar:

- Un área adecuada para dormir, que incluya el espacio necesario para el mobiliario de almacenamiento de ropa, como medida de protección de las condiciones de salud de los miembros del hogar.
- El espacio y el mobiliario necesario para el aseo personal y de la ropa; por lo que toda vivienda debe tener una unidad sanitaria que brinde: disposición sanitaria de excretas, aseo personal en ducha y lavamanos y una zona de lavado, secado y planchado de ropa.
- Una unidad de alimentación, que incluya el espacio necesario y el mobiliario para el almacenamiento, limpieza, procesamiento y consumo de los alimentos.
- Disponibilidad de servicios, materiales e infraestructuras

Los beneficiarios de una vivienda deben permanentemente acceder al agua potable, la energía para la cocina y alumbrado, instalaciones sanitarias y de aseo, lugares de almacenamiento de alimentos, sistemas de eliminación de desechos, drenajes y servicios de emergencia.

- Vivienda habitable

La vivienda debe ofrecer un espacio adecuado a sus ocupantes y protegerlos del frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otros peligros para la salud, riesgos estructurales y vectores de enfermedad. Debe garantizar también la seguridad física de los ocupantes.

- Vivienda asequible

La vivienda debe ser asequible a los grupos en situación de desventaja y garantizar la prioridad a los grupos desfavorecidos como las personas de edad, los niños, los incapacitados físicos, los enfermos desahuciados, las personas infectadas con el virus VIH, las personas con problemas médicos persistentes, los enfermos mentales, las víctimas de desastres naturales y las personas que viven en zonas de riesgo, entre otros grupos de personas.

- Lugar

La vivienda debe estar en un lugar con acceso a centros de empleo, servicios de atención de salud, guarderías, escuelas y otros servicios sociales. No debe estar

construida en zonas de alto riesgo, lugares contaminados ni en la proximidad inmediata de fuentes de contaminación que pongan en peligro el derecho a la salud de los habitantes.

- Adecuación cultural de la vivienda

La manera en que se construye la vivienda, los materiales de construcción utilizados y la formulación de políticas deben apoyar la expresión de la identidad cultural y la diversidad de la vivienda.

Los proyectos de vivienda deben comprometerse con el uso sostenible de los recursos naturales, por esta razón la ubicación, el diseño de los espacios, el aprovechamiento de la vegetación, deben ser pensados para reducir el consumo de energía y de agua, situaciones que contribuyen a la sostenibilidad de los recursos naturales y a la disminución de los gastos de las familias.

- Consumo del agua

El uso adecuado del agua exige al diseño de vivienda la reducción del consumo y considerar alternativas que permitan el reciclaje y aprovechamiento de aguas lluvias en usos diferentes a la preparación de alimentos, cuidado e higiene del cuerpo, lavaplatos y ducha.

- Consumo de energía

El diseño de la vivienda debe contribuir a la reducción del consumo de energía. Un diseño adecuado de la vivienda garantiza el uso eficiente de energía disminuyendo

los costos de consumo con espacios naturalmente ventilados e iluminados, evitando a los hogares el uso de sistemas mecánicos de calefacción o ventilación.

- Vivienda segura y eficiente

la normativa reciente a este respecto, contenida en el reglamento técnico para instalaciones eléctricas (retie) y el reglamento técnico de iluminación y alumbrado Público (retilaP), reglamentos de instalaciones eléctricas y de iluminación y alumbrado público, dispone requisitos en materia de pérdidas de energía y de ahorro como forma de vivienda segura al no producir pérdidas de energía (por ejemplo entre otros, el sobrecalentamiento de cables). La casa eficiente hoy involucra la utilización de iluminación, equipamiento eficiente y de energías renovables, tales como: paneles y calentadores solares.

- Adecuado aprovechamiento y disposición de los residuos sólidos.

El uso adecuado y aprovechamiento de los residuos sólidos exige, al diseño del conjunto habitacional, espacios adecuados dentro del amueblamiento urbano para el acopio y disposición de los residuos sólidos.

4.2.2. DISEÑO ESTRUCTURAL

Las condiciones de diseño estructural de las edificaciones deben garantizar un adecuado funcionamiento de las viviendas de interés social ante cargas laterales

y verticales en diferentes zonas de amenaza sísmica, según en donde éste localizado el proyecto.

El buen comportamiento sísmico de las viviendas depende en gran parte de que en su planeamiento estructural se tengan en cuenta los siguientes criterios relevantes:

- Sistema de resistencia sísmica. el sistema de resistencia sísmica de las viviendas debe garantizar un comportamiento adecuado, tanto individual como de conjunto. esto se logra por medio de los siguientes mecanismos:
 - Un conjunto de muros estructurales, ya sean muros de carga o muros de rigidez, dispuestos de tal manera que provean suficiente resistencia ante los efectos sísmicos horizontales en las dos direcciones principales en planta, teniendo en cuenta sólo la rigidez longitudinal de cada muro. los muros estructurales sirven para resistir las fuerzas laterales paralelas a su propio plano, desde el nivel donde se generan hasta la cimentación. los muros de carga soportan además de su propio peso, las cargas verticales debidas a la cubierta y a los entrepisos si los hay. los muros de rigidez sólo atienden como carga vertical su propio peso.
 - Un sistema de diafragma que obliga al trabajo conjunto de los muros estructurales, mediante amarres que transmitan a cada muro la fuerza lateral que deba resistir. los elementos de amarre para la acción de diafragma se deben ubicar dentro de la cubierta y los entrepisos.

- Un sistema de cimentación que transmita al suelo las cargas derivadas de la función estructural de cada muro. el sistema de cimentación debe tener una rigidez apropiada, de manera que se prevengan asentamientos diferenciales inconvenientes. el conjunto de cimientos debe constituir un diafragma.

- Disposición de muros estructurales. debido a que los muros individualmente resisten principalmente las cargas laterales paralelas a su plano, es conveniente la colocación de muros en dos direcciones ortogonales en planta. la longitud de los muros en las dos direcciones debe ser aproximadamente igual. debe tenerse especial cuidado cuando el entrepiso trabaja en una dirección, por la tendencia a colocar muros de carga en una sola dirección, caso en el cual es necesario utilizar un número suficiente de muros de rigidez en la dirección ortogonal.

- Simetría. con el fin de evitar torsiones de toda la edificación, ésta debe ser una planta lo más simétrica posible. la edificación como un todo y los módulos que la conforman, deben ser simétricos con respecto a sus ejes. cuando la planta asimétrica sea inevitable, la edificación debe dividirse en módulos independientes por medio de juntas, de tal manera que los módulos individuales sean simétricos. en lo posible se deben evitar los módulos largos y angostos en planta, con longitudes mayores a tres veces su ancho. también es conveniente que la localización de los vanos de puertas y ventanas sean lo más simétricos posible

- Continuidad vertical. tanto en la efectividad de los amarres en los diafragmas, como en el trabajo de continuidad vertical, cada muro se considera estructural, si es continuo desde la cimentación hasta el diafragma superior conformado por la cubierta. a partir del diafragma en el que el muro pierda continuidad vertical en más de la mitad de su longitud horizontal, el muro deja de considerarse estructural.
- Continuidad horizontal. Hay continuidad horizontal cuando los muros estructurales están alineados horizontalmente, al menos conformando parejas. cuando no exista alineamiento horizontal, el amarre del muro al nivel de los diafragmas debe llevarse hasta los amarres transversales adyacentes.
- Dimensiones modulares. la capacidad mecánica de los muros estructurales depende principalmente de la calidad de los materiales y de la mano de obra. el uso de piezas enteras permite mejorar la calidad de la obra, racionaliza el uso de los materiales y conserva la integridad de los elementos. las dimensiones en longitud y elevación de los muros y vanos, debe tener coordinación modular con las piezas empleadas.
- Elementos de amarre y refuerzo en los muros. se establecen como muros estructurales los confinados vertical y horizontalmente con elementos de concreto reforzado. las características de los muros estructurales para el diseño de las viviendas de interés social se deben revisar con más

detalle en el capítulo e.3 y las especificaciones de confinamiento en el capítulo e.4 y e.6 de la norma de sismo resistencia NSR 10.

- Diafragmas. un diafragma es un sistema estructural que amarra los muros de la estructura de manera que actúan como un conjunto. el entrepiso y la cubierta pueden considerarse como diafragmas cuando cumplan una serie de requisitos que garanticen su efectividad. el diafragma, debido a la riqueza que tiene en su propio plano, distribuye las fuerzas siempre entre los diferentes muros, haciendo que el muro trabaje únicamente en su dirección longitudinal. Para que un diafragma sea efectivo debe ser suficientemente rígido y resistente y además debe estar adecuadamente amarrado a los elementos verticales que resistan las fuerzas. en aquellos casos en que no exista un diafragma, el diseño de los muros debe ser realizado por un especialista, de acuerdo a los capítulos de la norma de sismo resistencia NSR10.

4.2.3. TRATAMIENTO DE DESECHOS PLÁSTICOS EN COLOMBIA

En la Resolución 1512 DE 2010, se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos y se adoptan otras disposiciones. El ministro de ambiente, vivienda y desarrollo territorial,

en ejercicio de sus facultades legales y en desarrollo de lo dispuesto en el artículo 38 del Decreto-ley 2811 de 1974 y los numerales 10 y 14 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993.

Esta resolución, formulada en base a los artículos 79 y 80 de la Constitución Política consagran el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables a fin de garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución y prevenir los factores de deterioro ambiental.

La resolución tiene por objeto establecer a cargo de los productores de computadores y/o periféricos que se comercializan en el país, la obligación de formular, presentar e implementar los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos, con el propósito de prevenir y controlar la degradación del ambiente.

4.3. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de conocer los últimos adelantos investigativos, realizados en el campo del estudio de materiales tecnológicos e innovadores empleados en la elaboración de estructuras de concreto, se realizó una exhaustiva investigación en la que se pudieron apreciar la gran variedad de estudios realizados a una amplia gama de materiales con diversas propiedades.

Por otro lado en este proceso de investigación se buscó conocer las recomendaciones, los percances y la metodología investigativas implementadas por los autores. En las investigaciones realizadas con anterioridad, generalmente se estudió el comportamiento de residuos plásticos como el tereftalato de polietileno (PET) debido a que este material es muy comúnmente encontrado en los basureros y lugares de conglomeración de desechos.

En el estudio del año 2007 de Batayneh (Batayneh, Marie, & Asi, 2007), se estudió el comportamiento a compresión, flexión y atracción indirecta de diferentes probetas elaboradas a partir de concreto adicionado con desechos plásticos de distintos tipos. El autor encontró, que la disminución de la resistencia se generó casi de manera lineal con respecto al porcentaje de plástico incorporado.

En la investigación desarrollada por Wan Jo, Kook Park y Chil Park (Jo, Park, & Park, 2008) en el año 2008, se ensayaron elementos realizados a partir de concreto adicionados con desechos plásticos pero esta vez se empleó material reciclado proveniente únicamente del procesamiento de botellas PET. En este estudio se

realizaron adiciones de material plástico fino y grueso por separado, con el fin de realizar un ensayo más exhaustivo en el que se obtuviera un resultado donde se mostrase la incidencia directa de la granulometría de los materiales agregados no convencionales adicionados a la mezcla y su resistencia final.

Otro de los estudios previos realizados a partir de materiales plásticos PET, es el desarrollado por Sadrmomtazi (Sadrmomtazi, Dolati-Milehsara, Lotfi-Omran, & Sadeghi-Nik, 2015) en el año 2015. En esta investigación se realizó una metodología muy parecida a la desarrollada por Wan Jo, Kook Park y Chil Park (Jo et al., 2008) debido a que las partículas de material plástico se reemplazaron porcentualmente por las partículas del agregado fino convencional. Adicionalmente en los diseños de mezcla desarrollados se implementó el uso de aditivos superplastificantes de con el fin de mejorar las propiedades de la mezcla de concreto resultante y su resistencia final.

La forma y el tamaño de los agregados plásticos resultan fundamentales en el estudio de las características y la resistencia final de los cilindros de concreto, debido a que de esta serie de factores depende la forma como se generara la falla dentro de los elementos y su comportamiento ante las cargas de servicio. La resistencia final obtenida en los ensayos podría ser usada para realizar una predicción aproximada del comportamiento y la resistencia final a compresión de los cilindros de concreto aunque debe tenerse en cuenta que los estudios anteriormente mostrados, el material utilizado era proveniente de todo tipo de desechos diferentes, es decir no solo estaba compuesto por los residuos de equipos electrónicos, como si es el caso del agregado utilizado en el desarrollo del presente trabajo.

Estudios realizados por Lakshmi y Nagan en el 2010 (Lakshmi&Nagan, 2010) a partir de ensayos de laboratorio a mezclas de concreto convencionales, sustituyendo porcentajes de agregados grueso convencional por plástico proveniente de la molienda de residuos electrónicos o E-waste como comúnmente se le conoce, los autores primeramente realizaron la caracterización del material plástico a utilizar y el agregado grueso, paulatinamente determinaron los porcentajes de agregado plástico sustituto.

En el año 2011 los mismo autores mencionados anteriormente (Lakshmi, Nagan, &Dist, 2011) realizaron una serie de ensayos a la mezcla de concreto elaborada a partir de distintos porcentajes de agregados plástico obtenido de los desechos electrónicos.

La gravedad específica del material E-waste resulta ser un factor fundamental a tener en cuenta si se busca realizar comparaciones con estudios previos desarrollados en este campo puesto que resulta imposible definir características estándar para todos los desechos tipos de desechos plásticos producidos, la composición química y la forma de molienda de estas partículas, hacen que cada muestra obtenida del proceso de reciclaje sea totalmente única.

En la investigación de Senthil Kumar (Senthil Kumar & Baskar, 2015) publicado en el año 2015, se estudió la resistencia a compresión de cilindros de concreto adicionados con material E-waste.

En el estudio desarrollado en el año 2011 por Lakshmi (Lakshmi et al., 2011) se encontró que la resistencia disminuye de una forma menos dramática a medida que se aumenta el porcentaje de plástico adicionado dentro de las mezclas, esto podría

deberse a lo mencionado anteriormente, puesto que la composición y la forma propia de las partículas de plástico varía significativamente de acuerdo a cada proceso de selección de residuos y al proceso de molienda de los desechos E-waste. La composición química de los materiales estudiados es fundamental en el estudio de la resistencia final a compresión de los cilindros puesto que la reactividad de los materiales con la pasta de cemento y los agregados minerales tradicionales varía según los componentes de las partículas de desecho plástico.

Según la normativa Colombiana expuesta en el código sismo resistente NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), el concreto a elaborar, debe tener una resistencia mínima de 2500 psi (NSR-10 C.4.3.1.), por ende para obtener mezclas que cumplan con los requerimientos establecidos en la norma lo recomendable sería realizar un aumento en el diseño de mezcla inicial con el fin de compensar la disminución ocasionada por la adición del material plástico no usado convencionalmente.

Con el fin de garantizar que el resultado final de la investigación arroje por lo menos un diseño de mezcla válido, donde la mezcla de concreto y los cilindros ensayados a los 28 días de curado cumplan con las propiedades físicas y requisitos mínimos de resistencia establecidos en la normativa, se optó por aumentar la resistencia inicial de diseño f'_c un 20% a partir del mínimo establecido por la normativa de 2500 psi, es decir que se usó una resistencia f'_c de 3000 psi. Al mayorar la resistencia f'_c y obtener f'_{cr} según como se estipula en el procedimiento de diseño estandarizado por la ACI 211 (ACI, 1997), se obtuvo que el f'_{cr} final para el diseño de mezcla corresponda a 4200 psi.

Mediante del estudio realizados por Silva (Silva, de Brito, & Saikia, 2013), se determina como es afectado la resistencia a la compresión del concreto E-waste bajo parámetros o condiciones ambientales.

En la investigación de Senthil Kumar (Senthil Kumar & Baskar, 2015) publicado en el año 2015, se estudió la resistencia a compresión de cilindros de concreto adicionados con material E-waste.

De acuerdo al estudio realizado por (Manatkar & Deshmukh, 2015), se observa que para concretos de resistencias iguales a 20 Mpa y 25 Mpa con una sustitución porcentual de 0 a 20 % del agregado grueso es recomendable solo reemplazar hasta el 10% de agregado convencional por plástico, esto debido al incremento en la reducción de la resistencia con porcentaje de plástico sustituto mayor a 10%.

Según los estudios realizados por Kumar y Baskar (Kumar & Baskar, 2015) y bajo la caracterización de su agregado plástico proveniente de desechos electrónicos, se observa que cuan menor sea la relación A/C mayor será la resistencia del concreto, sin obviar la perdida de resistencia debido al incremento de material plástico sustituto.

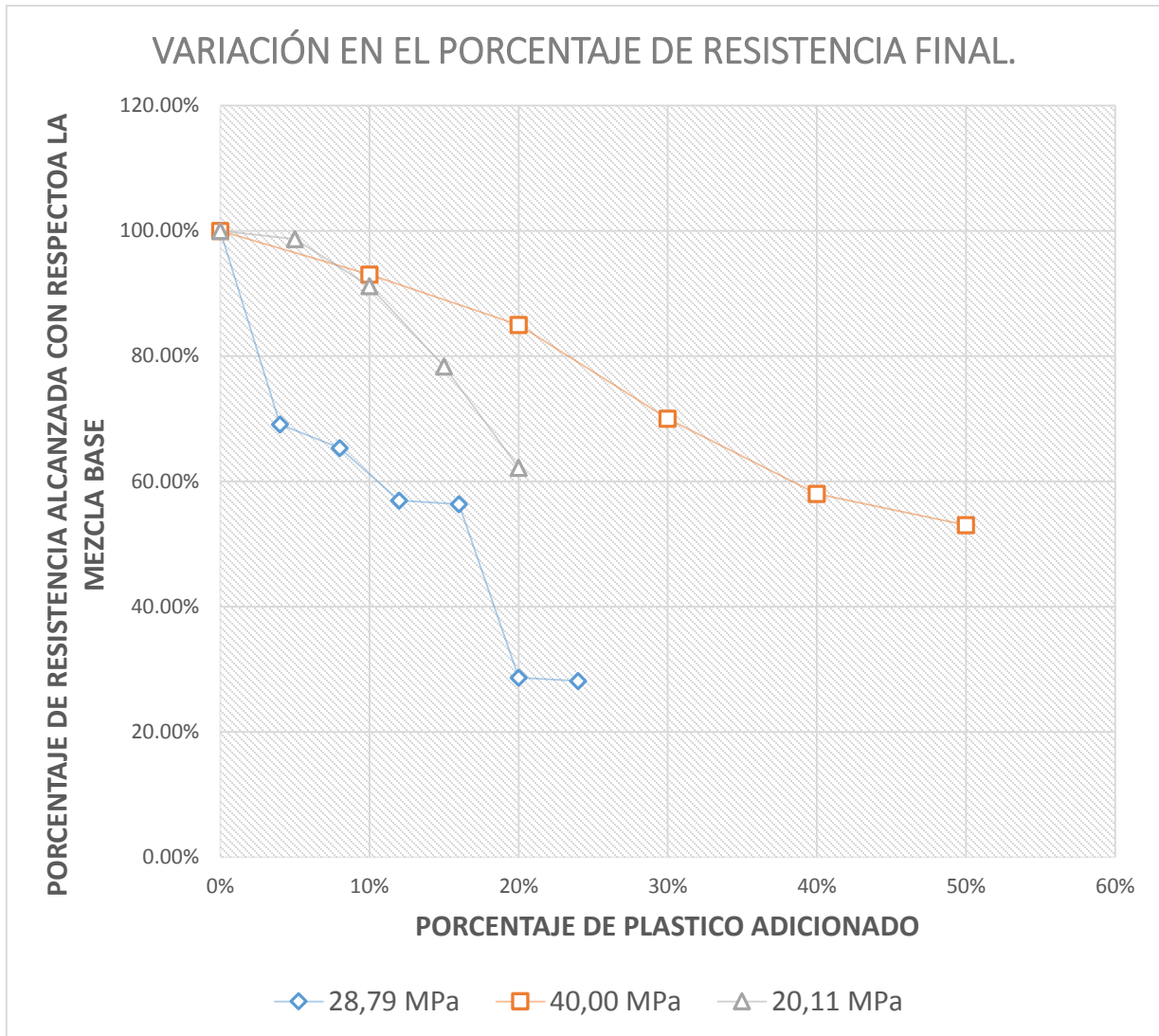


Figura 18. Variación en el porcentaje de resistencia final para cada porcentaje de agregado plástico adicionado según la resistencia inicial de la mezcla de referencia (Lakshmi et al., 2011) y (Kumar&Baskar, 2014)

En el esquema anterior (Figura 18), se recopilan los datos de los estudios anteriormente mostrados y se compara la forma como se produce la disminución porcentual en la resistencia para cada uno de ellos tomando como referencia la resistencia inicial a la que se diseñó la mezcla base de concreto con 0% de agregado plástico E-waste (28,79 MPa, 40 MPa y 20,11 MPa).

Es posible apreciar que a medida que se incrementa la resistencia base de diseño, la disminución provocada por la incorporación del agregado plástico E-waste se hace menos significativa. Siendo el 20% de AP, un porcentaje significativo de partículas de E-waste agregadas dentro de la mezcla de concreto realizado para cada uno de los estudios anteriormente desarrollados, es posible establecer una relación entre la resistencia final obtenida para cada mezcla tomando este porcentaje como referencia (*Figura 19*). Es posible observar, que la mezcla con 40 MPa de resistencia inicial, mantiene su resistencia base en un 85%, un valor bastante elevado en comparación al obtenido en las resistencias finales de las mezclas base de 20,11 y 28,79 MPa.

En el siguiente grafico se pueden observar las diferentes curvas granulométricas propias de cada uno de los agregados plásticos usados en algunas de las investigaciones realizadas con anterioridad. En la curva "*Plástico*" representada con el color azul puede apreciarse la granulometría de los agregados plásticos a partir de los cuales se elaborara la mezcla de concreto en el presente proyecto, la curva verde representa la granulometría del material plástico usado en la investigación de (Batayneh et al., 2007) mientras que la naranja corresponde a la del estudio publicado por (Sadrmtazi et al., 2015).

Tal y como se puede apreciar la granulometría del material usado en la investigación realizada por Batayneh (Batayneh et al., 2007) en el año 2007 (*curva verde*) se asemeja en mayor medida al material plástico empleado en el presente trabajo. La forma y el tamaño de los agregados plásticos resultan fundamentales en el estudio de las características y la resistencia final de los cilindros de concreto, debido a que

de esta serie de factores depende la forma como se generara la falla dentro de los elementos y su comportamiento ante las cargas de servicio. La resistencia final obtenida en los ensayos podría ser usada para realizar una predicción aproximada del comportamiento y la resistencia final a compresión de los cilindros de concreto aunque debe tenerse en cuenta que los estudios anteriormente mostrados, el material utilizado era proveniente de todo tipo de desechos diferentes, es decir no solo estaba compuesto por los residuos de equipos electrónicos, como si es el caso del agregado utilizado en el desarrollo del presente trabajo.

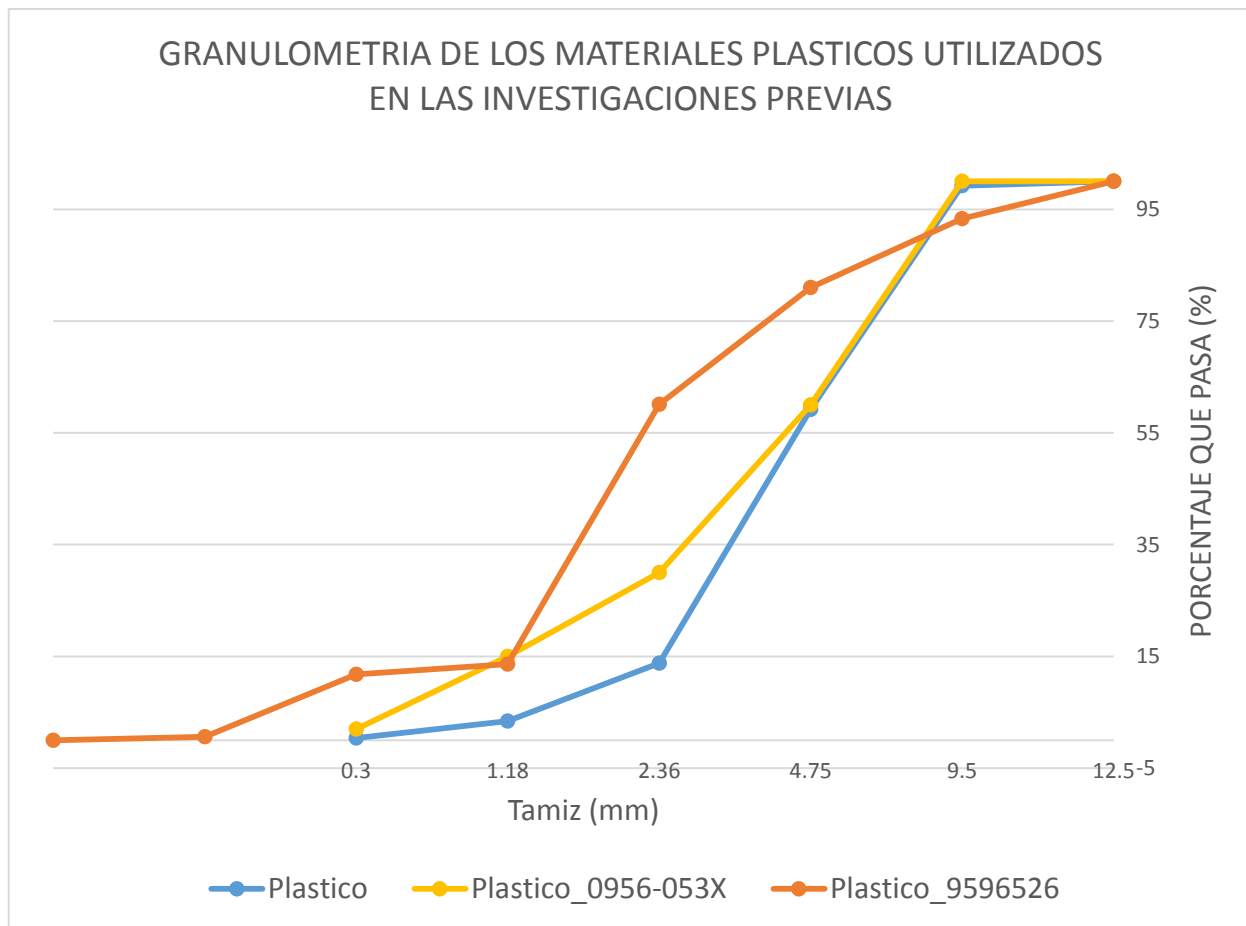


Figura 19. Comparación entre las diferentes granulometrías de los materiales ensayados en estudios previos (Sadrmomtazi et al., 2015) y (Batayneh et al., 2007)

5. DISEÑO METODOLÓGICO.

A continuación, se describe de manera lógica y ordenada, la forma como se desarrollaran las fases del proyecto. Cada una de estas fases se compone de objetivos específicos y a su vez estos últimos se descomponen de actividades, también es posible apreciar el periodo de tiempo dentro del cual se desarrollara cada proceso.

I. PRIMERA FASE: ANÁLISIS PRELIMINAR Y OBTENCIÓN DE MATERIALES (6 semanas).

En esta fase se investigara toda la información referente a los estudios realizados previamente en el área de la producción de concreto con agregados plásticos, de igual forma se realizará la cotización de los materiales y equipos requeridos para realizar los ensayos al concreto fresco y endurecido.

OBJETIVO: Definir la problemática del trabajo de grado que justifica la realización del proyecto y buscar en la literatura artículos sobre concretos realizados con desechos plásticos provenientes de equipos electrónicos.

ACTIVIDADES

- 1.1. Definir el alcance del proyecto y plantear la problemática a tratar. (*Mes de inicio 1 – mes de finalización 1*).
- 1.2. Buscar y elegir en la literatura artículos científicos relacionados con la realización de concreto adicionado con agregados plásticos. (*Mes de inicio 1 – mes de finalización 2*).
- 1.3. Definir metodología a implementar para la obtención del agregado plástico. (*Mes de inicio 1 – mes de finalización 1*).
- 1.4. Pedir cotizaciones a diferentes empresas para la compra de los materiales y equipos necesarios para la realización de los ensayos. (*Mes de inicio 1 – mes de finalización 2*).
- 1.5. Compra y entrega de los materiales. (*Mes de inicio 2 – mes de finalización 2*).

PRODUCTOS Y ENTREGABLES

1. Facturas de los equipos y materiales adquiridos.
2. Protocolo de obtención y molienda de residuos plásticos.
3. Bibliografía.

II. SEGUNDA FASE: DISEÑO DE MEZCLA Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES. (8 semanas).

En esta fase corresponde al inicio de las pruebas aplicadas en el laboratorio a los materiales a partir de los cuales se desarrollaran las mezclas de concreto, se realizarán los ensayos de caracterización de los agregados y los cálculos para el diseño de mezcla con el método de diseño elegido.

OBJETIVO: Diseñar las mezclas de concreto.

ACTIVIDADES

- 2.1. Buscar y elegir en la literatura el método para el diseño de mezclas. (Mes de inicio 1 – Mes de finalización 1). *(Mes de inicio 2 – mes de finalización 3).*
- 2.2. Realizar ensayos de caracterización a los agregados pétreos convencionales, el polvo de cemento y el agregado plástico. (Mes de inicio 1 – Mes de finalización 2). *(Mes de inicio 2 – mes de finalización 4).*^f
- 2.3. Diseñar las mezclas según la metodología escogida. (Mes de inicio 1 – Mes de finalización 1). *(Mes de inicio 3 – mes de finalización 4).*

PRODUCTOS Y ENTREGABLES

1. Caracterización de Materiales.
2. Diseño de mezclas.

III. TERCERA FASE: ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO. (5 semanas).

En esta fase se llevarán a cabo las pruebas de laboratorio que consisten en la realización de los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (NTC 673), ensayo de tensión al concreto (NTC 722), seguidamente se determinarán las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

OBJETIVO: Realizar ensayos de laboratorio sobre las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.

ACTIVIDADES

- 3.1. Toma de muestras de concreto fresco. *(Mes de inicio 4 – mes de finalización 4).*
- 3.2. Determinar las propiedades de los concretos fabricados en estado fresco. *(Mes de inicio 4 – mes de finalización 4).*
- 3.3. Determinar las propiedades de los concretos en estado endurecido. *(Mes de inicio 4 – mes de finalización 5).*

- 3.4. Registrar los resultados obtenidos. (*Mes de inicio 4 – mes de finalización 5*).

PRODUCTOS Y ENTREGABLES

1. Caracterización de las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.

IV. CUARTA FASE: ANÁLISIS FINAL. (9 semanas).

En esta fase se analizarán y se clasificarán los datos obtenidos a partir de la realización de los ensayos descritos en la fase anterior, para desarrollar las respectivas conclusiones. Simultáneamente se trabajará en la redacción del documento final y de un artículo científico.

OBJETIVO: Formular conclusiones y recopilar los resultados de la investigación para ser mostrados en un medio de publicación como un artículo científico.

ACTIVIDADES

- 4.1. Analizar el efecto de las partículas de agregado plástico en las propiedades del concreto en estado fresco. (*Mes de inicio 5 – mes de finalización 6*).

- 4.2. Analizar el efecto de las partículas de agregado plástico en las propiedades del concreto en estado endurecido. (*Mes de inicio 5 – mes de finalización 6*).
- 4.3. Realizar las conclusiones. (*Mes de inicio 6 – mes de finalización 7*).
- 4.4. Redacción del documento final. (*Mes de inicio 5 – mes de finalización 7*).
- 4.5. Redacción del artículo científico. (*Mes de inicio 7 – mes de finalización 7*).

PRODUCTOS Y ENTREGABLES

- 1. Informe final.
- 2. Artículo científico.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

6.1.1. CARACTERIZACION DE CEMENTO

6.1.1.1. *DENSIDAD DEL CEMENTO*

La densidad del cemento desempeña un papel significativo en su producción y funcionamiento. Los minerales crudos se calientan en hornos enormes para promover cambios químicos en éstos. De este proceso se obtiene lo que comúnmente es llamado “Clinker”. Los pasos finales en la fabricación del cemento implican la molienda y el mezclado, los cuales producen precisamente ese polvo fino al que llamamos cemento. Cada paso en la fabricación del cemento es verificado por frecuentes pruebas físicas, al igual que el producto terminado, a fin de asegurar que este cumple con todas las especificaciones necesarias. El cemento se muele hasta una finura determinada puesto que la influencia del tamaño de partícula tanto en su cinética de hidratación así como en el desarrollo de la resistencia de este es bien conocida. Para un contenido de cemento dado, una reducción en los tamaños de partícula medios, produce generalmente una

resistencia compresiva más alta. La densidad de este material de construcción se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen (cm}^3\text{)}}$$

Ecuación 7. Fórmula empleada para la determinación de la densidad del cemento.

En la anterior relación, puede apreciarse que la densidad es inversamente proporcional al volumen, es decir, que al obtener un valor de volumen desplazado mayor dicha propiedad física disminuirá. La densidad se define como la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa. Se ha establecido que 3,15 g/cm³ corresponde a la densidad del cemento puro, este valor no difiere demasiado, sin embargo, cualquier variación debe ser tomada en cuenta puesto que influye en el control de calidad del concreto y en el diseño de mezclas del mismo.

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CONCRETO

Se debe llenar el frasco con cualquiera de los líquidos especificados en este caso queroseno hasta un punto situado entre las marcas 0ml y 1ml, después de verterlo se anota la primera lectura, después de sumergir el frasco en el baño de agua.

El cemento, previamente pesado se introduce en pequeños incrementos a la misma temperatura que el líquido, evitando salpicaduras, observar que el cemento no se adhiera al interior del frasco sobre el líquido. Un aparato vibrador puede ser utilizado para acelerar la introducción del cemento dentro del frasco y para prevenir que el cemento se atasque en el cuello. Después de que todo el cemento ha sido introducido, colocar el tapón en el frasco, rodarlo en posición inclinada, o suavemente girarlo en círculos horizontales, de manera de liberar el aire hasta que ya no suban burbujas a la superficie del líquido. Si ha sido añadida una cantidad adecuada de cemento, el nivel del líquido estará en su posición final en algún punto de las graduaciones en la parte superior del cuello. Registrar la lectura final después de que el frasco ha sido sumergido en el baño de agua. Posteriormente se debe sumergir el frasco en un baño de agua a temperatura constante por períodos de tiempo suficientes, con el fin de evitar variaciones de temperatura en el frasco mayores a $0,2^{\circ}\text{C}$ entre las lecturas inicial y final.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para la determinación de la densidad del cemento marca “ARGOS” se utilizó un picnómetro el cual se llenó a la marca de keroseno de densidad aproximada de 3.15 GR/CM3 estabilizado a una temperatura ambiente promedio de 25°C. Siguiendo el procedimiento explicado en la norma técnica colombiana, se obtuvieron los siguientes valores:

$$wtara = 213 \text{ g}$$

$$Wtara + cemento = 278 \text{ g}$$

$$Wcemento = 68 \text{ g}$$

$$volumen \text{ inicial} = 1 \text{ cm}^3$$

$$volumen \text{ final} = 23.5 \text{ cm}^3$$

$$volumen \text{ desplazado por el cemento} = 22.5 \text{ cm}^3$$

La densidad del cemento está dada por la relación entre su masa y el volumen total desplazado en el picnómetro, entonces;

$$Peso \text{ Especifico} = \frac{Peso \text{ (g)}}{Volumen \text{ (cm}^3\text{)}} = \frac{65 \text{ (g)}}{22.5 \text{ (cm}^3\text{)}} = 2.88 \text{ g/cm}^3$$

Ecuación 8. Calculo del peso específico del cemento marca Argos.

Generalmente el peso específico del cemento Portland es de aproximadamente 3.15. El cemento Portland de escoria de alto horno y los cementos Portland-puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90. La densidad obtenida en el ensayo fue de 2.88 g/cm³, lo cual lo ubica dentro del rango, y su baja densidad puede deberse a un aumento indeseado en la humedad del cemento al momento de almacenaje o en la fabricación del mismo. La densidad real del cemento Portland a granel puede variar considerablemente dependiendo de su manejo y almacenamiento.

6.1.1.2. FINURA DEL CEMENTO

El proceso de molienda de Clinker y de yeso determina la finura del cemento que es el tamaño de las partículas de cemento. La finura es una de las propiedades físicas más importantes del cemento, ya que está íntimamente ligada con la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de la resistencia. Sin embargo, un alto grado de finura representa un costo considerable debido a que aumenta el tiempo de molienda; y cuanto más fino sea un cemento, se deteriorara con mayor rapidez, debido a que absorbe más fácilmente la humedad del aire. Adicionalmente, liberan mayor cantidad de calor de hidratación ocasionando mayor retracción y por lo tanto son más susceptibles a la figuración. Pero un cemento fino, exuda menos que uno más grueso, debido a que retiene mejor el agua al tener

mayor superficie de hidratación. Por otro lado los cementos con partículas muy gruesas se hidratan y endurecen muy lentamente, lo que puede producir exudación de agua por su escasa capacidad para retenerla.

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FINURA DEL CONCRETO

Se colocó una muestra de 50 gr de cemento fresco y seco sobre el tamiz N°200 que también debe estar limpio y seco y con una tapa en su fondo o en su defecto un recipiente en el cual caiga el cemento que pasa a través del tamiz, Luego de depositar el cemento en el tamiz, se procedió al proceso con un movimiento lento de muñeca sosteniendo el tamiz con ambas manos, hasta que pasado la mayor cantidad de material fino y el residuo obtuvo una apariencia limpia. El proceso de tamizado estuvo acompañado de la limpieza de tamiz con una brocha o cepillo en el fondo de este, para evitar que las aberturas del tamiz se obstruyeran con el paso del material fino. Luego de un tiempo transcurrido se procedió a rodar el tamiz y a dar suaves golpecitos sobre las paredes de este, que según las especificaciones fueron 150 veces por minuto, teniendo en cuenta que cada 25 golpes se giró el tamiz aproximadamente la sexta parte de la revolución, en el mismo sentido. Para revisar que el proceso ya había finalizado se colocó una hoja en blanco debajo del tamiz, cuando se observó que no caía material sobre esta, indicaba que ya el material fino había pasado a través del tamiz y que solo quedaba el material grueso.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

La finura del cemento. Se calcula de la siguiente manera: a. Cuando no se realiza corrección:

$$F = 100 - \frac{(Rs * 100)}{w}$$

Ecuación 9. Fórmula para la determinación de la finura del cemento.

Donde:

F= finura del cemento expresado en porcentaje que pasa en el tamiz No. 100 o el tamiz No. 200

Rs= residuo de la muestra retenido en el tamiz No. 100 o tamiz No. 200 en gr

W= peso de la muestra en gr

Cuando se usa la corrección:

$$Rc = \frac{(Rs * 100)}{w} + C$$

$$F = 100 - Rc$$

Ecuación 10. Fórmula para la determinación de la finura del cemento con corrección.

Donde

F= finura del cemento expresado en porcentaje que pasa en el tamiz No. 100 o el tamiz No. 200 **Rs**= residuo de la muestra retenido en el tamiz No. 200 en gr.

W= peso de la muestra en gr.

C= factor de corrección del tamiz determinado el cual puede ser positivo o negativo en porcentaje.

R_c= residuo corregido en porcentaje.

Tabla 15. Resultados del proceso de tamizado del polvo de cemento.

DATOS	
TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)
100	0.128
200	1.485
FONDO	48.387
TOTAL	50

Finura del cemento sin el factor de corrección:

- Para el tamiz No. 100

$$F = 100 - \frac{(0.128 \text{ gr} * 100)}{50 \text{ gr}} = 99.744 \%$$

- Para el tamiz No. 200

$$F = 100 - \frac{(1.485 \text{ gr} * 100)}{50 \text{ gr}} = 97.03 \%$$

Ecuación 11. Fórmula empleada en la determinación de la finura del cemento (sin factor de corrección).

Finura con el factor de corrección.

Nota: debido a que el tamiz es tejido muy estrechamente y retiene más de lo que debe si fuera una abertura de 75 μm , el factor de corrección, *C* que se va a emplear al residuo en porcentaje es -0,2%

$$R_c = \frac{(1,485 \text{ gr} * 100)}{50 \text{ gr}} + (-0,2 \%) = 2.968 \%$$

$$F = 100 - 2.968 = 97,032\%$$

Ecuación 12. Calculo de la finura del cemento (con factor de corrección).

ANALISIS DE RESULTADOS

Con los resultados obtenidos anteriormente podemos ver que el cemento Argos posee una finura con respecto al tamiz No. 100 del 99,74% y con respecto al tamiz No. 200 del 97,03% lo cual resulta admisible para un cemento que va a ser utilizado para un diseño de mezcla debido a que se admite un porcentaje de 0,5% de impurezas como máximo y en el cemento utilizado se presenta un porcentaje de 0,26%, lo que nos dice que este cemento es apto para un diseño de mezcla.

6.1.2. CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

6.1.2.1. GRANULOMETRIA

Se determina está a partir de la composición en porcentaje de los diversos tamaños del agregado que componen una muestra representativa del total en estudio, para realizar este ensayo se debe tener en cuenta que los tamices cumplan con los requisitos que exige la norma para realizar dicho procedimiento (VER NTC 77) , el fin de este ensayo es determinar el tamaño máximo (TM) del agregado el cual corresponde a la abertura del tamiz que permite el paso del 100% del material y el tamaño máximo nominal (TMN) el cual es el tamiz inmediatamente superior aquel que retiene el 15% o más del total de la muestra, el TMN indica el tamaño promedio de partículas más grandes que componen la muestra.

Se determina la granulometría del agregado grueso y fino utilizado para realizar el proyecto en cuestión, dando como resultado lo siguiente:

AGREGADO GRUESO

En la (Tabla 16) se muestran los resultados obtenidos tras la aplicación del ensayo de granulometría al agregado grueso empleado en la fabricación del concreto. La cantidad de muestra que se utilizo fue de 5000 gr.

Tabla 16. Resultados obtenidos de la aplicación del Ensayo de Granulometría al Agregado Grueso "Gravilla".

AGREGADO GRUESO "GRAVILLA"					
Tamiz	Peso retenido (w) gr.	% Retenido	% Pasa	% Acumulado	Abertura (mm)
2"	0	0,00	100,00	0,00	50
1 1/2"	0	0,00	100,00	0,00	37,5
1"	0	0,00	100,00	0,00	25
3/4"	146	2,92	97,08	2,92	19
1/2"	1961,4	39,23	57,85	42,15	12,5
3/8"	1077,7	21,55	36,30	63,70	9,5
No 4	1727	34,54	1,76	98,24	4,75
Fondo	87,8	1,76	0,00	100,00	N/A
Peso de la muestra total	4999,9			108,77	

	mm	Tamiz
Tamaño Máximo	25	1"
Tamaño Máximo Nominal	19	3/4"

AGREGADO FINO

La clasificación granulometría de la arena o agregado fino se establece mediante la clasificación de la misma con respecto al módulo de finura del material, aunque este método se extiende y puede ser utilizado sobre cualquier material granular, este se obtiene dividiendo entre 100 la suma de los porcentajes retenidos que se acumular en los tamices utilizados para realizar el ensayo, los resultados del estudio se

presentan a continuación (Tabla 17), la cantidad de muestras estudiada fue de 500 gr:

Tabla 17. Resultados obtenidos de la aplicación del Ensayo de Granulometría al Agregado Fino "Arena".

AGREGADO FINO "ARENA"							
Tamiz	W Ret (gr)	% Ret	% Pasa	% Acu	Ab(mm)	MF	Clas
3/8"	0	0,00	100,00	0,00	9,5	1.92	Material Fino.
N° 4	0	0,00	100,00	0,00	4,75		
N° 8	0	0,00	100,00	0,00	2,36		
N° 16	6,6	1,32	98,68	1,32	1,18		
N° 30	110,4	22,10	76,58	23,42	0,6		
N° 50	258,1	51,67	24,90	75,10	0,3		
N° 100	83,5	16,72	8,19	91,81	0,15		
N° 200	29,8	5,97	2,22	97,78	0,075		
Fondo	11,1	2,22	0,00	100,00	N/A		
Peso de la muestra total	499.5			191.65			

En la (Figura 21) se muestra la curva granulométrica del agregado Fino (Arena de Santo Tomas). En el grafico pueden apreciarse los parámetros establecidos por la normativa ASTM para indicar si un agregado es apto para emplearse como material de construcción. Puede observarse que la granulometría obtenida, no cumple con los estándares, de igual forma se procedió a realizar la experimentación a partir de este material debido a que comúnmente en la región Caribe Colombiana este es el material usado en la elaboración de hormigón en sitio y se pretenden simular al máximo las condiciones con las que tradicionalmente se produce el concreto a partir del cual se realiza la construcción de las viviendas de interés social.

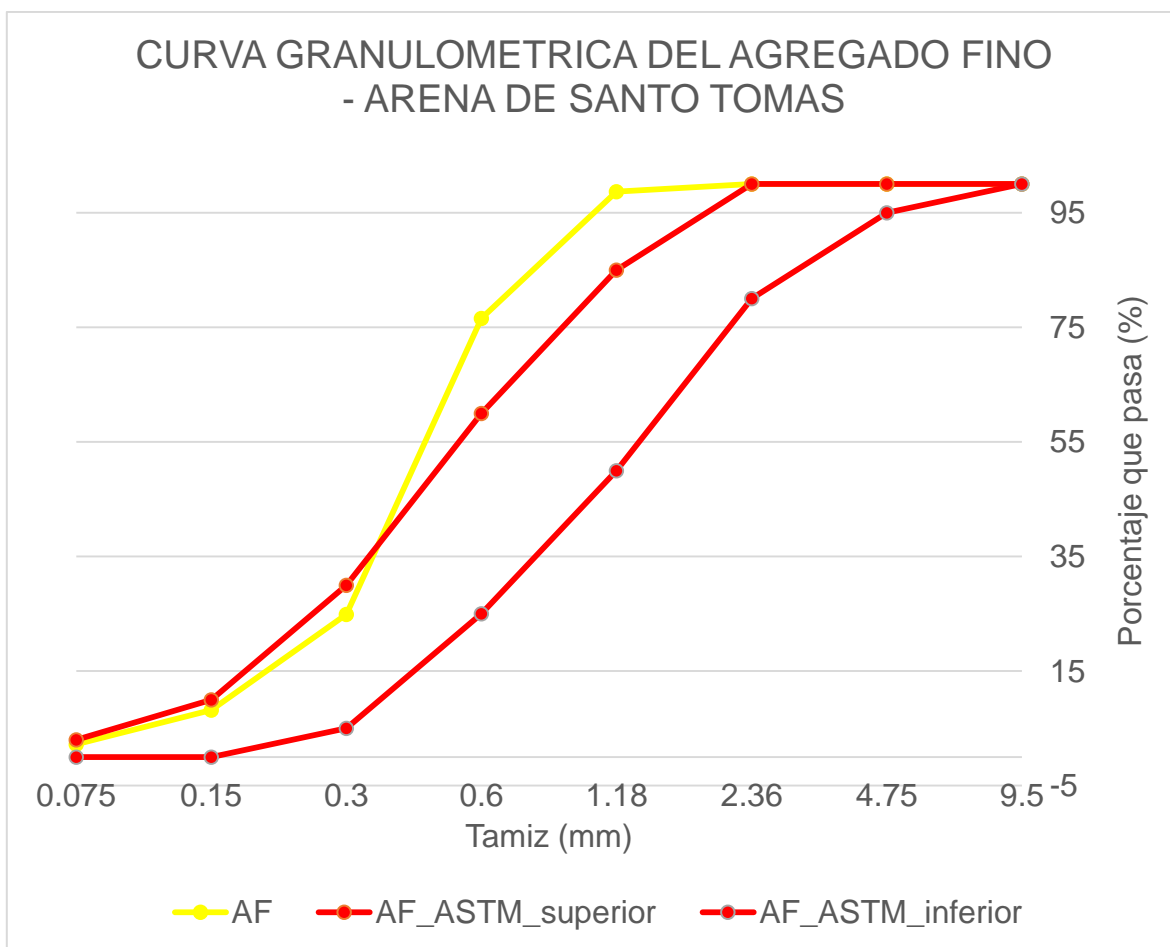


Figura 20. Curva granulométrica del agregado Fino - Arena de Santo Tomas.

Tamiz	W retenido (gr)	% Retenido	% Pasa	% Acumulado	Abertura (mm)	Módulo de Finura
3/4"	0	0.00	100.00	0.00	19	5.23 (Material Grueso)
1/2"	0	0.00	100.00	0.00	12.5	
3/8"	4	0.80	99.20	0.80	9.5	
N° 4	200	40.00	59.20	40.80	4.75	
N° 8	227	45.40	13.80	86.20	2.36	
N° 16	52	10.40	3.40	96.60	1.18	
N° 30	13	2.60	0.80	99.20	0.6	
N° 50	2	0.40	0.40	99.60	0.3	
N° 100	1	0.20	0.20	99.80	0.15	
N° 200	0.8	0.16	0.04	99.96	0.075	
Fondo	0.2	0.04		-	N/A	
Peso de la muestra total	500			523.00		

En la (Figura 21) mostrada a continuación se aprecia la curva granulométrica resultante del agregado grueso (Gravilla), puede apreciarse que al igual que la arena de santo tomas, este material no cumple al 100% con los parámetros estipulados en la normativa ASTM, pero al ser un material tradicionalmente usado en la elaboración de concreto se tuvo en cuenta en la realización de la investigación.

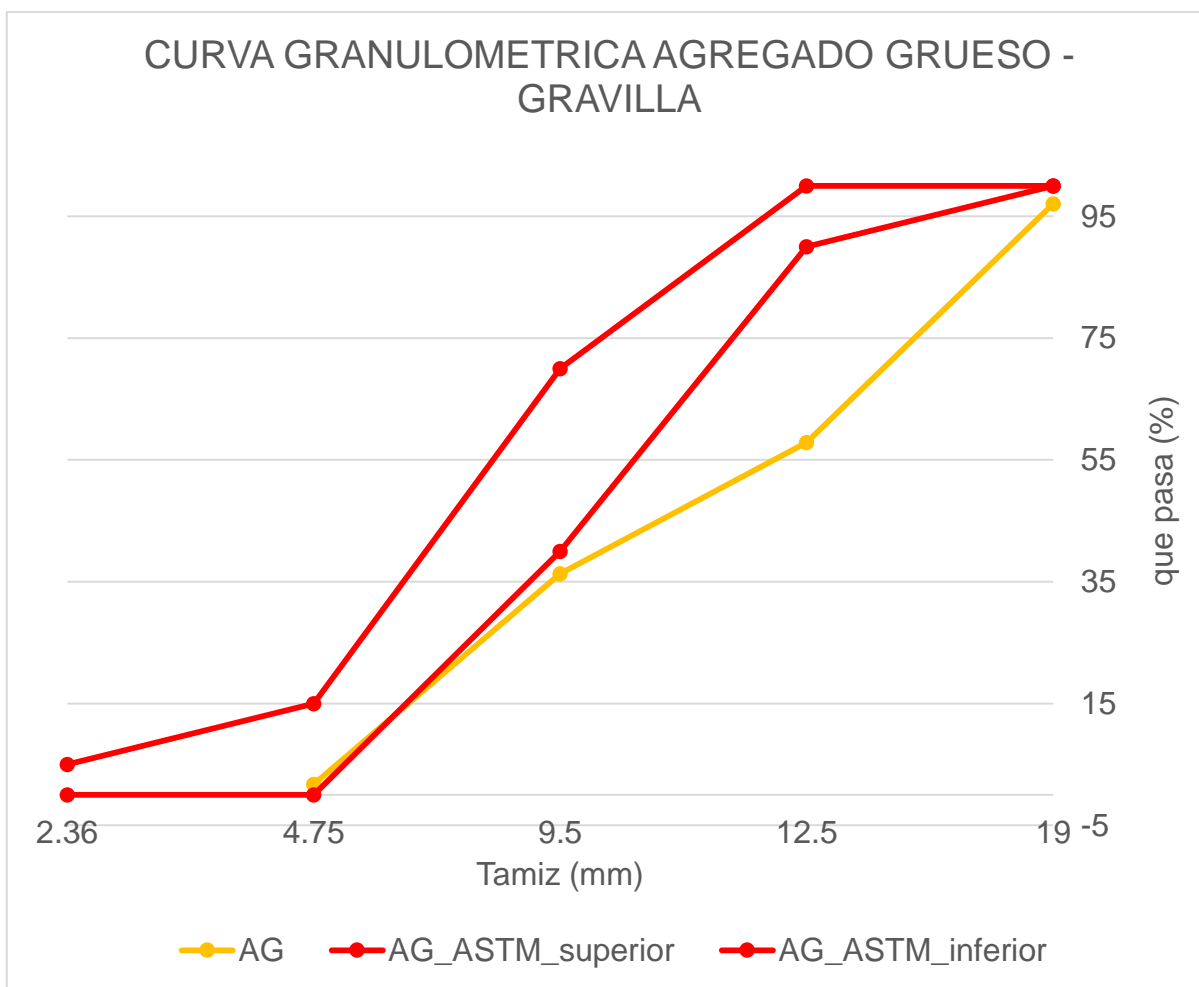


Figura 21. Curva granulométrica del agregado grueso - Gravilla.

AGREGADO PLASTICO

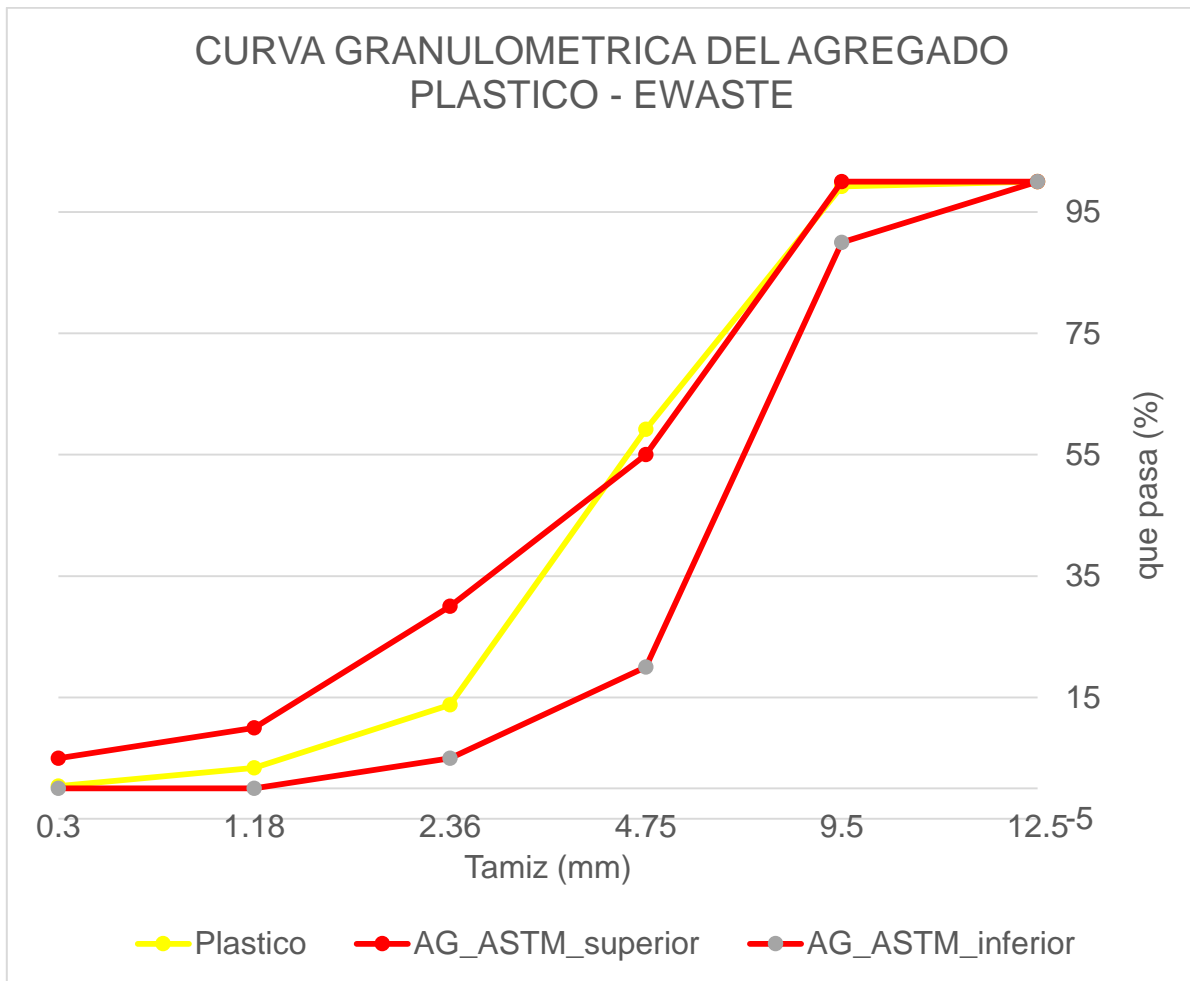


Figura 22. Curva granulométrica del agregado Plástico E-WASTE.

6.1.2.2. MASA UNITARIA

La relación existente entre la masa del material que cabe en un recipiente de medidas y volumen conocido, da como resultado lo que se conoce como masa unitaria, esta característica de los agregados se determina a partir de la norma NTC 92, una vez se lleve a cabo el ensayo se puede determinar la masa unitaria suelta la cual indica el volumen natural de vacíos que produce el agregado en su acomodo y la relación con respecto a su textura y forma y la masa unitaria compactada la cual representa la calidad del agregado debido a que cuan mejor sea su granulometría mayor será su valor, los agregados con figura esférica o cubica producen mayor masa unitaria. Se determinó el volumen del recipiente de medidas conocidas, en la (Tabla 18) se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 18. Dimensiones del recipiente a emplear.

MEDIDAS	DIÁMETRO (M)	ALTURA (M)
Recipiente Finos	0,153	0,165
Recipiente gruesos	0,153	0,165

El volumen del molde se determinó mediante la aplicación de la fórmula para el cálculo del volumen del cilindro, mostrada a continuación.

$$V = \pi * r^2 * h$$

Ecuación 13. Fórmula empleada en la determinación del volumen del cilindro usado como molde en la elaboración de los especímenes de concreto.

Donde:

r = Radio de la base del cilindro.

h = Altura del cilindro.

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras el pesaje de los moldes empleados en la determinación de la masa unitaria suelta y compacta del agregado grueso y fino según el ensayo descrito en la norma NTC 92. Para la determinación de la masa unitaria del agregado plástico triturado se realizó el mismo procedimiento y se tuvieron en cuenta los mismos parámetros.

MASA UNITARIA SUELTA

AGREGADO GRUESO		MASA DEL AGREGADO MÁS EL MOLDE PROM (Kg)	
Volumen Molde (m3)	0,0030	1	4,404
Masa del agregado prom (kg)	4,36	2	4,312
Masa Unitaria del Agregado (kg/m3)	1438,60	3	4,376
% de vacíos	35,92%		

AGREGADO FINO		MASA DEL AGREGADO MÁS EL MOLDE PROM (Kg)	
Volumen Molde (m3)	0,0030	1	4,404
Masa del agregado más el molde prom (kg)	5,10	2	4,312
Masa Unitaria del Agregado (kg/m3)	1682,73	3	4,376
% de vacíos	21,08%		

AGREGADO PLASTICO		MASA DEL AGREGADO MÁS EL MOLDE PROM (KG)	
Masa del molde (kg)	5,88	1	7,30
Volumen Molde (m3)	0,0032	2	7,28
Masa del agregado más el molde prom (kg)	7,28	3	7,27
Masa Unitaria del Agregado (kg/m3)	441,19		
% de vacíos	52,56%		

MASA UNITARIA COMPACTA

AGREGADO GRUESO		MASA DEL AGREGADO MÁS EL MOLDE PROM (KG)	
Volumen Molde (m3)	0,0030	1	4,916
Masa del agregado + el molde prom (kg)	4,79	2	4,776
Masa Unitaria del Agregado (kg/m3)	1579,09	3	4,679
% de vacíos	29,66%		
AGREGADO FINO		MASA DEL AGREGADO MÁS EL MOLDE PROM (KG)	
Volumen Molde (m3)	0,0030	1	5,65
Masa del agregado + el molde prom (kg)	5,67	2	5,65
Masa Unitaria del Agregado (kg/m3)	1870,52	3	5,72
% de vacíos	12,28%		
AGREGADO PLASTICO		MASA DEL AGREGADO MÁS EL MOLDE PROM (KG)	
Masa del molde (kg)	5,88	1	7,457
Volumen Molde (m3)	0,0032	2	7,446
Masa del agregado + el molde prom (kg)	7,45	3	7,434
Masa Unitaria del Agregado (kg/m3)	493,04		
% de vacíos	46,98%		

6.1.2.3. DENSIDAD

Se conoce como densidad la relación existente entre la masa y el volumen de un agregado y viene definida a partir del origen del agregado, la densidad de los agregados finos y grueso viene definido por las normas NTC 237 Y NTC 176 respectivamente. Para la elaboración del concreto se deberá tener en cuenta los poros o cavidades que se generan entre partículas los cuales pueden estar rellenos de agua o estas vacíos (aire) los cuales pueden llegar a ser determinantes durante el diseño de mezcla en el proceso de la incorporación del agua de mezclado.

El cálculo de las densidades se puede determinar mediante las normas técnicas colombianas (VER PROCEDIMIENTO NTC 237 y NTC 176), con el fin de desarrollar el respectivo procedimiento, para la realización del proyecto se tuvo en cuenta:

AGREGADO GRUESO

Peso de la muestra

$$WTara\ AG = 382\ gr$$

Peso de la canastilla sumergida en agua

$$Canasta\ Sumergida = 2232\ gr$$

DATOS

A (gr)	B (gr)	C (gr)
Masa muestra seca	Masa muestra SSS	Masa muestra sumergida
2704	2822	1620

DENSIDADES

En la (Tabla 19) presentada a continuación se muestran los resultados obtenidos tras la aplicación del ensayo de densidad a la muestra de agregado grueso.

Tabla 19. Resultados obtenidos tras la aplicación del ensayo para la determinación de densidades a la Gravilla.

AGREGADO GRUESO	
Densidad Ap (Bulk)	2,25
Dens. Ap SSS	2,35
Densidad Nominal	2,49
Absorción	4,36%

AGREGADO FINO

Peso de la muestra

$$WTara AF = 432 \text{ gr}$$

DATOS

A (gr)	B (gr)	S (gr)	C (gr)
Masa muestra seca + Tara	Masa picnómetro + agua	Masa muestra SSS	Masa picnómetro + agua + muestra
916	659	500	932,0

DENSIDADES

En la (Tabla 20) presentada a continuación se muestran los resultados obtenidos tras la aplicación del ensayo de densidad a la muestra de agregado fino.

Tabla 20. Resultados obtenidos tras la aplicación del ensayo para la determinación de densidades a la Arena.

AGREGADO FINO	
Densidad ap (Bulk)	2,14
Dens. Ap SSS	2,21
Dens. Nominal	2,30
Absorción	3,31%

Tabla 21. Caracterización de Materiales.

CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES					
Materiales	Densidad (gr/cm3)	%Hum.	%Abs.	Masa Unitaria Compacta (kg/m3)	Masa Unitaria Suelta (kg/m3)
Agua	1	---	---	---	---
Cemento	3,15	---	---	---	---
Grava	2,55	2	4,36	1579	1439
Arena	2,55	6	3,31	1871	1683
Plástico	0,93	2	2	493	441

6.2 DISEÑO DE MEZCLA METODO A.C.I DEL COMITÉ 211.1

Paso I “mayoración de la resistencia a la compresión del concreto”

$$f'c = 214,14 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$f'cr = 298,14 \frac{Kg}{cm^2}$$

Paso II “Selección del asentamiento”

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP	
	máximo	mínimo
ZAPATAS Y MUROS DE CIMENTACIÓN	3"	1"
CIMENTACIONES SIMPES Y CALZADURAS	3"	1"
VIGAS Y MUROS ARMADOS	4"	1"
COLUMNAS	4"	2"
LOSAS Y PAVIMENTOS	3"	1"
CONCRETO CICLÓPEO	2"	1"

Paso III “Selección del Tamaño Máximo de los Agregados y módulo de finura de la arena”

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO								
Pulgada	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
MILÍMETROS	9,525	12,7	19,05	25,4	38,1	50,8	76,2	101,6

MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA						
1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3

Paso IV “Determinación del Contenido de Agua”

SLUMP	TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO								
	inch	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
	mm	9,525	12,7	19,05	25,4	38,1	50,8	76,2	101,6
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO									
1" a 2"		207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"		228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"		243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado		3,0%	2,5%	2,0%	1,5%	1,0%	0,05%	0,03%	0,02%

Paso V “Selección del Contenido de Aire”

Se tendría en cuenta si se le incorporará aire o no a la mezcla de concreto.

Paso VI “Selección de la Relación Agua/Cemento”

RELACION A/C		
$f'c$ (MPa)	Sin Aire	Con Aire
15	0,79	0,71
20	0,69	0,61
25	0,61	0,53
30	0,54	0,45
35	0,47	0,39
40	0,42	-----
45	0,38	-----

A partir de los datos seleccionados se procede a interpolar para conocer con mayor precisión la relación A/C correspondiente a este proyecto.

		x	y
		<i>f'c (MPa)</i>	<i>Relación A/C</i>
			<i>Sin Aire</i>
0	<i>Inferior</i>	25	0,61
1	<i>Superior</i>	30	0,54
x,y	<i>Valor</i>	28,95	0,55

Paso VII “Determinación del Factor cemento”

$$\frac{A}{C} = \frac{205}{0.55} = 372.73 \text{ kg/m}^3$$

Ecuación 14. Relación empleada en la determinación del factor cemento

CANTIDADES DE AGREGADOS CON ADICION DE PLASTICO DEL 0% O CILINDRO TESTIGO

Paso VIII “Determinación del Contenido de Agregado Grueso”

Tamaño MÁXIMO nominal del Agregado grueso.	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por Unidad de volumen del concreto, para diversos MÓDULOS de fineza del fino.						
	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
3/8”	0,56	0,54	0,52	0,5	0,48	0,46	0,44

1/2"	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,72	0,7	0,68	0,66	0,64	0,62	0,6
1"	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
1 1/2"	0,82	0,8	0,78	0,76	0,74	0,72	0,7
2"	0,84	0,82	0,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81

$$\text{Peso de Agregado (kg)} = 0.66 * 1579 = 1042,14 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen Final de Agregado Grueso más Plástico (m3)} =$$

$$\left(\frac{\text{Peso del Agregado}}{\text{Densidad}} \right) * 1000 = 0.41 \text{ m3}$$

Ecuación 15. Calculo del Volumen final de agregado Grueso más Plástico.

Paso IX “Determinación de los volúmenes absolutos de cemento, agua, aire y agregado grueso”. Se determinan los volúmenes absolutos:

Cemento	372.73 Kg
Agua	205.00 Lt
Agregado Grueso	1042.14 Kg

Paso X “Determinación del Volumen Absoluto de Agregado Fino”

$$1 - (0,205 - 0.118 - 0.41 - 0.02) = 0.25 \text{ m3}$$

Paso XI “Determinación de la Cantidad de agregado Fino”

$$0.25 * (2.55 * 1000) = 632.38 \text{ Kg}$$

Paso XII “Corrección de los valores de diseño por humedad propia de los agregados”

Peso de agregado fino (kg)	632.38
peso de agregado grueso (kg)	1042.14

TABLA GENERAL DE CANTIDAD DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE 1m ³ DE CONCRETO CON ADICION DE PLASTICO DE 0%						
Material	Por peso kg/1 m ³ [H°]		Por peso kg/1 Cilindro		Relación	Por volumen
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo		
Agua	205.00	188.25	1.09	1.00	0.51	0.188
Cemento	372.73	372.73	1.98	1.98	1	0.118
Grava	1042.14	1052.56	5.52	5.58	2.82	0.409
Arena	632.38	638.70	3.35	3.39	1.71	0.248
Plástico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

Como el objetivo de la presente investigación es la sustitución del agregado grueso por un agregado no convencional (plástico), centrándonos en que este cumpla con la resistencia mínima requerida para la elaboración de elementos no estructurales, se busca conocer la equivalencia existente entre el peso del cilindro con el porcentaje de sustitución en estudio, se realiza dicha equivalencia con respecto a su peso y volumen dando como resultado (Tabla 18):

Tabla 18. Porcentaje de Sustitución de Agregado Plástico determinado con respecto al volumen.

VOLUMEN GRAVILA + PLASTICO	
% Adicionado de Plástico	% GRAVILLA
0%	100%
65%	35%
73%	27%
81%	19%

Cuando se desea reemplazar el 40% de agregado grueso se deberá reemplazar el 65% del peso total del agregado grueso y así consecutivamente con cada porcentaje de sustitución en estudio.

CANTIDADES DE AGREGADOS CON ADICION DE PLASTICO DEL 40% O CONCRETO 2

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGREGADOS.

<i>Volumen de Agregado (m3) =</i>	0,66
-----------------------------------	------

<i>Peso de Agregado</i>	1042,14
<i>(Kg) =</i>	

<i>Volumen final de Agregado Grueso + Plástico</i>	0,41
<i>(m3) =</i>	

Equivalencia con respecto a la cantidad de agregado grueso a sustituir:

*(Volumen final de Agregado Grueso + Plástico * 0.65)*

<i>Volumen de Agregado Plástico</i>	0,27
<i>(m3) =</i>	

*(Volumen de Agregado Plástico * densidad *1000)*

<i>Peso de Agregado Plástico (Kg) =</i>	247,05
---	--------

(Volumen final de Agregado Grueso + Plástico - Volumen de Agregado Plástico)

<i>Volumen de Agregado Grueso (m3)</i>	0,14
<i>=</i>	

*(Volumen de Agregado Grueso * densidad *1000)*

<i>Peso de Agregado Grueso (Kg) =</i>	364,75
---------------------------------------	--------

DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGREGADOS FINOS.

Debido a que el agregado fino no es el objeto de nuestro estudio con respecto a su sustitución se mantendrá igual a las cantidades de agregado del cilindro testigo.

CORRECCION POR HUMEDAD

Esta se realiza de igual forma que en el paso explicado anteriormente en el diseño de mezcla.

RESUMEN DE DATOS

A continuación se presentan las cantidades de material requeridas para la fabricación de 1 m³ de concreto según el diseño de mezcla con 40% de agregado plástico (Tabla 20).

TABLA GENERAL DE CANTIDAD DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE 1m³ DE CONCRETO CON ADICION DE PLASTICO DE 40%						
<i>Material</i>	<i>Por peso p/1 m³ [H°]</i>		<i>Por peso kg/1 Cilindro</i>		<i>Relación</i>	<i>Por volumen</i>
	<i>Seco</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Seco</i>	<i>Húmedo</i>		
Agua	205,00	195,03	1,09	1,03	0,52	0,195
Cemento	372,73	372,73	1,98	1,98	1	0,118
Grava	364,75	368,40	1,93	1,95	0,99	0,409
Arena	632,38	638,70	3,35	3,39	1,71	0,248
Plástico	247,05	244,58	1,31	1,30	0,66	0,078

Tabla 19. Resumen de Cantidades Para diseño de mezcla con 40% de Agregado plástico.

CANTIDADES DE AGREGADOS CON ADICION DE PLASTICO DEL 50% O CONCRETO 3

$$\text{Volumen de Agregado (m}^3\text{)} = 0,66$$

$$\text{Peso de Agregado (Kg)} = 1042,14$$

$$\text{Volumen final de Agregado Grueso + Plástico (m}^3\text{)} = 0,41$$

Equivalencia con respecto a la cantidad de agregado grueso a sustituir:

$$(\text{Volumen final de Agregado Grueso + Plástico} * 0.73)$$

$$\text{Volumen de Agregado Plástico (m}^3\text{)} = 0,30$$

$$(\text{Volumen de Agregado Plástico} * \text{densidad} * 1000)$$

$$\text{Peso de Agregado Plástico (Kg)} = 277,45$$

$$(\text{Volumen final de Agregado Grueso + Plástico} - \text{Volumen de Agregado Plástico})$$

$$\text{Volumen de Agregado Grueso (m}^3\text{)} = 0,11$$

$$(\text{Volumen de Agregado Grueso} * \text{densidad} * 1000)$$

$$\text{Peso de Agregado Grueso (Kg)} = 281,38$$

RESUMEN DE DATOS

A continuación se presentan las cantidades de material requeridas para la fabricación de 1 m³ de concreto según el diseño de mezcla con 50% de agregado plástico (Tabla 20).

TABLA GENERAL DE CANTIDAD DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE 1m³ DE CONCRETO CON ADICION DE PLASTICO DE 50%						
<i>Material</i>	<i>Por peso p/1 m³ [H°]</i>		<i>Por peso kg/1 Cilindro</i>		<i>Relación</i>	<i>Por volumen</i>
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo		
Agua	205,00	195,86	1,09	1,04	0,53	0,196
Cemento	372,73	372,73	1,98	1,98	1	0,118
Grava	281,38	284,19	1,49	1,51	0,76	0,409
Arena	632,38	638,70	3,35	3,39	1,71	0,248
Plástico	277,45	274,68	1,47	1,46	0,74	0,088

Tabla 20. Resumen de Cantidades Para diseño de mezcla con 50% de Agregado

plástico.

CANTIDADES DE AGREGADOS CON ADICION DE PLASTICO DEL 60% O CONCRETO 4

Equivalencia con respecto a la cantidad de agregado grueso a sustituir:

(Volumen final de Agregado Grueso + Plástico * 0.81)

<i>Volumen de Agregado Plástico (m³) =</i>	0,33
---	------

(Volumen de Agregado Plástico * densidad *1000)

$$\text{Peso de Agregado Plástico (Kg)} = 307,86$$

(Volumen final de Agregado Grueso + Plástico - Volumen de Agregado Plástico)

$$\text{Volumen de Agregado Grueso (m}^3\text{)} = 0,08$$

(Volumen de Agregado Grueso * densidad *1000)

$$\text{Peso de Agregado Grueso (Kg)} = 198,01$$

RESUMEN DE DATOS

A continuación se presentan las cantidades de material requeridas para la fabricación de 1 m³ de concreto según el diseño de mezcla con 60% de agregado plástico (**Tabla 21**).

TABLA GENERAL DE CANTIDAD DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE 1m ³ DE CONCRETO CON ADICION DE PLASTICO DE 60%						
Material	Por peso p/1 m ³ [H°]		Por peso kg/1 Cilindro		Relación	Por volumen
	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo		
Agua	205,00	196,70	1,09	1,04	0,53	0,197
Cemento	372,73	372,73	1,98	1,98	1	0,118
Grava	198,01	199,99	1,05	1,06	0,54	0,409
Arena	632,38	638,70	3,35	3,39	1,71	0,248
Plástico	307,86	304,78	1,63	1,62	0,82	0,098

Tabla 21. Resumen de Cantidades Para diseño de mezcla con 60% de Agregado plástico.

CANTIDADES TOTALES PARA LA ELABORACION DEL DISEÑO DE MEZCLAS A PARTIR DE LA DOSIFICACION PREVIAMENTE CALCULADA:

A continuación se muestran las cantidades de material requeridas en unidades comerciales de bultos de 50 kg para cemento y sacos para arena y gravilla (**Tabla 22**).

Material	Peso (Kg)		Materiales para producción (Seco)	Materiales para producción (Húmedo)
	Seco	Húmedo		
Agua	35,20	33,31	36 Litros de Agua	34 Litros de Agua
Cemento	64,00	64,00	2 Bultos de Cemento de 50 kg	2 Bultos de Cemento de 50 kg
Grava	80,98	81,79	4 Bultos de triturado de 25 kg	4 Bultos de triturado de 25 kg
Arena	108,59	109,68	4 Bultos de arena de 25 kg	5 Bultos de arena de 25 kg
Plástico	35,73	35,38	3 Sacos de plástico molido de 15 kg	3 Sacos de plástico molido de 15 kg

Tabla 22. Cantidades finales empleadas en la elaboración de los concretos 1,2,3 y

4.

6.3 ELABORACIÓN DE MEZCLA Y PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.

Luego de conocer la dosificación final de los materiales a emplear mediante el diseño de mezcla realizado a partir el método ACI, se inició con la fabricación de concreto para la elaboración de los cilindros que serían empleados posteriormente

en la realización de las pruebas para conocer la resistencia a compresión según la norma NTC 673.

Durante los días de 29 y 30 de agosto de 2016 se llevó a cabo la realización de las mezclas de concreto en las instalaciones de la Universidad de la Costa. En total se realizaron cuatro mezclas de concreto, una de referencia (sin plástico) y otras tres con diferentes porcentajes de plástico molido. La adición del plástico a la mezcla se hizo sustituyendo porcentajes de agregado grueso (gravilla).

Para la realización de la mezcla se debió hacer un previo lavado de la gravilla a usar debido a que esta poseía un elevado porcentaje de material fino que debió ser retirado con el fin de que no se vieran afectadas las propiedades mecánicas del concreto. A continuación se especifican los porcentajes de agregado plástico que se emplearon para cada tipo de mezcla (Tabla 23).

Tabla 23. Referenciación indicada para cada tipo de concreto según el porcentaje de plástico adicionado.

REFERENCIACIÓN INDICADA PARA CADA TIPO DE CONCRETO	
CONCRETO 1	Concreto de referencia (sin plástico).
CONCRETO 2	Concreto con 40% plástico y 60% gravilla (en peso).
CONCRETO 3	Concreto con 60% plástico y 40% gravilla (en peso).
CONCRETO 4	Con 50% plástico y 50% gravilla (en peso).

El día 29 de agosto del año 2016 se realizaron las primeras dos mezclas (Concreto 1 y 2), mientras que las otras dos (Concreto 3 y 4) se realizaron el día 30 de agosto, debido a una fuerte lluvia que se presentó el 29 de agosto en la tarde. El procedimiento de mezclado utilizado fue manual con la ayuda de una pala, debido a que no se contaba con mezcladora para realización de concreto en sitio.

En total se fundieron 24 cilindros de concreto. Para cada tipo de mezcla (Concreto 1-4) se hicieron 6 cilindros, 2 para ensayar a los 7 días de edad, 2 para ensayar a los 14 días y 2 para ensayar a los 28 días. En la (**Tabla 24**) se muestran los parámetros y propiedades tenidos en cuenta durante la elaboración del concreto.

Tabla 24. Parámetros y propiedades de la mezcla.

PARÁMETRO	VALOR CONSIDERADO
Resistencia a la compresión para el concreto de referencia (sin plástico).	3000 psi
Asentamiento mínimo	1 Pulgada
Asentamiento máximo	4 Pulgadas
Tamaño máximo nominal de la gravilla	$\frac{3}{4}$ Pulgadas
Tamaño máximo nominal del plástico	$\frac{3}{8}$ Pulgadas
Relación agua /cemento (a/c)	0,55
Contenido de aire en volumen	2%
Densidad de la gravilla	1580 Kg/m ³
Densidad del plástico	490 kg/m ³
Peso específico de la gravilla	2,55
Peso específico del plástico	0.93
Peso específico de la arena	2,55
Peso específico del cemento	3.02

Los materiales utilizados para la realización de las mezclas y cuya caracterización se describió anteriormente fueron los siguientes:

Cemento.	Cemento Gris de uso general marca Argos.
Agregado Fino.	Arena proveniente de la cantera del municipio de Santo Tomás (Atlántico).
Agregado Grueso.	Gravilla proveniente de la cantera de Puerto Colombia (Atlántico).
Agregado Grueso (No Convencional)	Plástico residuo de desechos electrónicos (E-WASTE) molido.

En el diseño de mezcla se consideró un valor de 1% para la humedad de los agregados teniendo en cuenta las condiciones presentes en el momento de realizar las mezclas (altas temperaturas por el contacto directo del sol con el sitio del trabajo). En la (Tabla 25) presentada a continuación se muestran las cantidades de material requeridas para la elaboración de 1 m³ de concreto, en (Tabla 26), se muestran las cantidades para la elaboración de 24 cilindros de concreto.

Tabla 25. Cantidades de concreto requeridas para la elaboración de 1 m³ de concreto.

	CONCRETO 1	CONCRETO 2	CONCRETO 3	CONCRETO 4
Cemento (kg)	372.73	372.73	372.73	372.73
Arena (kg)	638.88	638.88	638.88	638.88
Gravilla (kg)	1053.23	368.15	200.74	283.15
Plástico (kg)	0	247.86	308.43	278.61
Agua (l)	197.89	201.28	202.11	201.70

Tabla 26. Cantidades de concreto requeridas para la elaboración de 24 cilindros de concreto.

	CONCRETO 1	CONCRETO 2	CONCRETO 3	CONCRETO 4
Cemento (kg)	16.10	16.1	16.10	16.10
Arena (kg)	27.60	27.6	27.60	27.60
Gravilla (kg)	45.50	15.90	8.67	12.23
Plástico (kg)	0	10.71	13.32	12.04
Agua (l)	8.55	8.7	8.73	8.71

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla mostrada a continuación (**Tabla 27**), se presentan los valores de resistencia a la compresión obtenidos para los 4 tipos de concreto a los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla 27. Valores de resistencia a la compresión resultantes a los 7, 14 y 28 días de curado.

	CONCRETO 1	CONCRETO 2	CONCRETO 3	CONCRETO 4
Asentamiento	2.5 pulgadas	3 pulgadas	3 pulgadas	4 pulgadas
Resistencia a la compresión 7 días.	1912 psi.	1714 psi.	1273 psi	1296 psi.
Resistencia a la compresión 14 días.	2346 psi.	1874 psi.	1500 psi	1555 psi.
Resistencia a la compresión 28 días.	2728 psi.	2147 psi.	1521 psi	1803 psi
Densidad	2426 kg/m ³	2119 kg/m ³	1897 kg/m ³	1990 kg/m ³

Como se puede observar en la Tabla 27 el concreto sin plástico (Concreto 1) alcanzó a los 7 días el 70% de la resistencia a los 28 días (2728 psi), mientras que el concreto con 60% plástico (Concreto 3) alcanzó el 84% de la resistencia a los 28 días (1521 psi).

En la Figura 21, puede observar el desarrollo de las resistencias a compresión a través del tiempo para cada tipo de concreto. La resistencia a los 7 días de edad del Concreto 3 fue 66% de la resistencia del concreto sin plástico, significando una baja de resistencia del Concreto 3 de 34%. La resistencia a los 28 días de edad del Concreto 3 fue 55% de la resistencia del concreto sin plástico, significando una baja de resistencia del Concreto 3 de 45%.

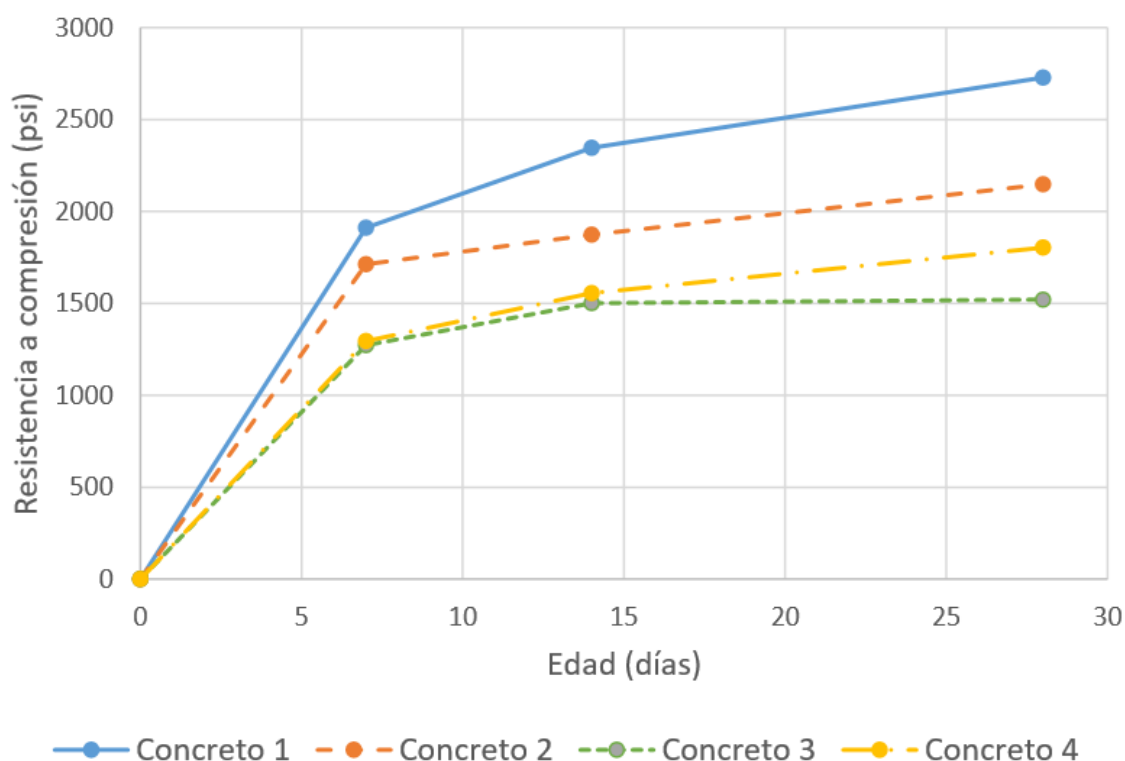


Figura 21. Desarrollo de la resistencia a la compresión a través el tiempo.

En base a los resultados obtenidos el concreto sin plástico (Concreto 1) puede clasificarse como concreto de peso normal, con una densidad de 2426 kg/m³. Como era de esperar para los concretos con plástico (Concreto 2-4) se han registrado densidades menores, el valor más bajo registrándose para el concreto con el mayor porcentaje de plástico (Concreto 3). El concreto con 60% plástico y 40% gravilla (Concreto 3) en comparación con el concreto con 100% gravilla (Concreto 1) ha presentado una baja en la densidad de aproximadamente 22%, lo que se traduce en una reducción de peso del concreto con 60% plástico de 22%.

Los concretos con plástico presentaron un buen comportamiento durante el estado fresco registrándose valores de asentamientos medidos con el ensayo de cono Abrams de 3 y 4 pulgadas, lo que es recomendado en caso elementos verticales como muros.

En la (Figura 23), mostrada a continuación se presentan los porcentajes de reducción de peso que se produjeron en los CONCRETOS 2, 3 y 4 con respecto al CONCRETO 1 (mezcla convencional con 0% de Agregado plástico adicionado). El concreto 2 presento una reducción de aproximadamente el 13% del peso con respecto a la mezcla base.

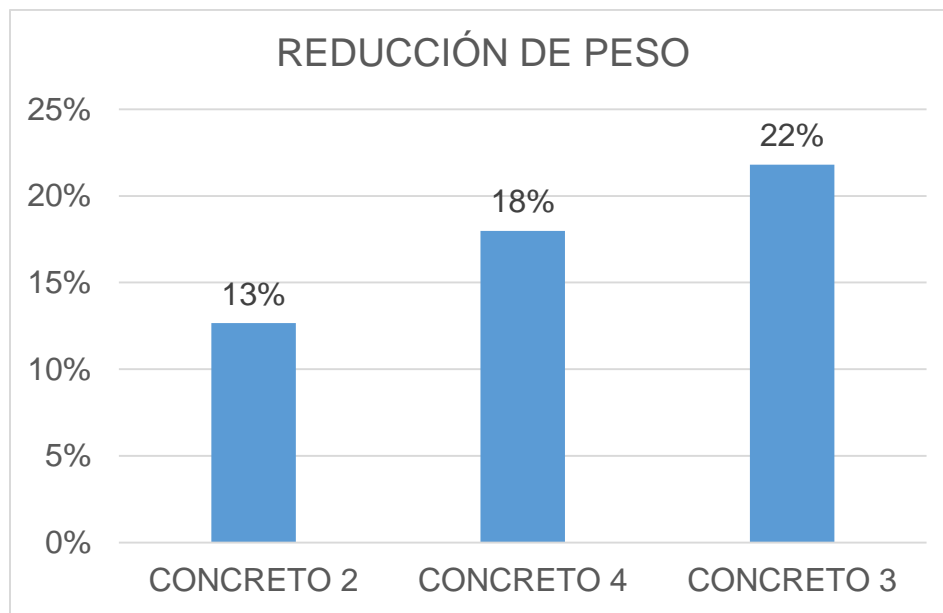


Figura 23. Reducción de peso del concreto con agregado plástico con respecto al concreto base (convencional).

6.5. ANALISIS DE COSTOS

En la (Tablas 31), mostrada a continuación se presentan los costos de adquisición de los materiales empleados en la fabricación de concreto. Los valores indicados corresponden a los costos del primer trimestre del año 2017 y se indican en unidades comerciales (Sacos de 40 y 50 kg).

Tabla 31. Costo de materiales usados en la producción de concreto.

COSTO DE MATERIALES USADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO			
	Saco de 40 kg	1 m3	Saco 50 Kg
Precio Saco de Gravilla	\$ 4,400.00	\$ 45,000.00	-
Precio Saco de Arena	\$ 2,500.00	\$ 35,000.00	-
Precio Saco de Cemento	-	-	\$ 26,500.00

Con base a las cantidades de material indicadas en la Tabla 25, se calcularon las cantidades de sacos de cemento x 50 kg, sacos de arena x 40 kg y sacos de gravilla x 40 kg, en la Tabla 32 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 32. Cantidad de material para 1 m³ (Unidades comerciales)

CANTIDADES DE MATERIAL PARA 1 m³ (UNIDADES COMERCIALES)				
	CONCRETO 1	CONCRETO 2	CONCRETO 3	CONCRETO 4
Precio Saco de Cemento x 50 kg	8	8	8	8
Precio Saco de Arena x 40 kg	16	16	16	16
Precio Saco de Gravilla x 40 kg	27	10	6	6

En la Tabla 33, se muestra el costo requerido para la producción de 1 m³ de concreto según la dosificación obtenida para cada diseño de mezcla (CONCRETO 1, CONCRETO 2, CONCRETO 3 y CONCRETO 4).

Tabla 33. Costo de material para elaboración de 1 m³ de concreto

COSTO DE MATERIAL PARA ELABORACIÓN DE 1 m³ DE CONCRETO				
	CONCRETO 1	CONCRETO 2	CONCRETO 3	CONCRETO 4
Cemento (kg)	\$ 212,000.00	\$ 212,000.00	\$ 212,000.00	\$ 212,000.00
Arena (kg)	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00	\$ 40,000.00
Gravilla (kg)	\$ 118,800.00	\$ 44,000.00	\$ 26,400.00	\$ 26,400.00
TOTAL	\$ 370,800.00	\$ 296,000.00	\$ 278,400.00	\$ 278,400.00

A partir de la información presentada en la Tabla y la Figura 22 se puede apreciar que aunque se generó una pérdida de aproximadamente del 21,3% de la resistencia a la compresión entre el CONCRETO 1 y el CONCRETO 2, se generó una disminución casi directamente proporcional del 20,17% en los costos requeridos para su fabricación.

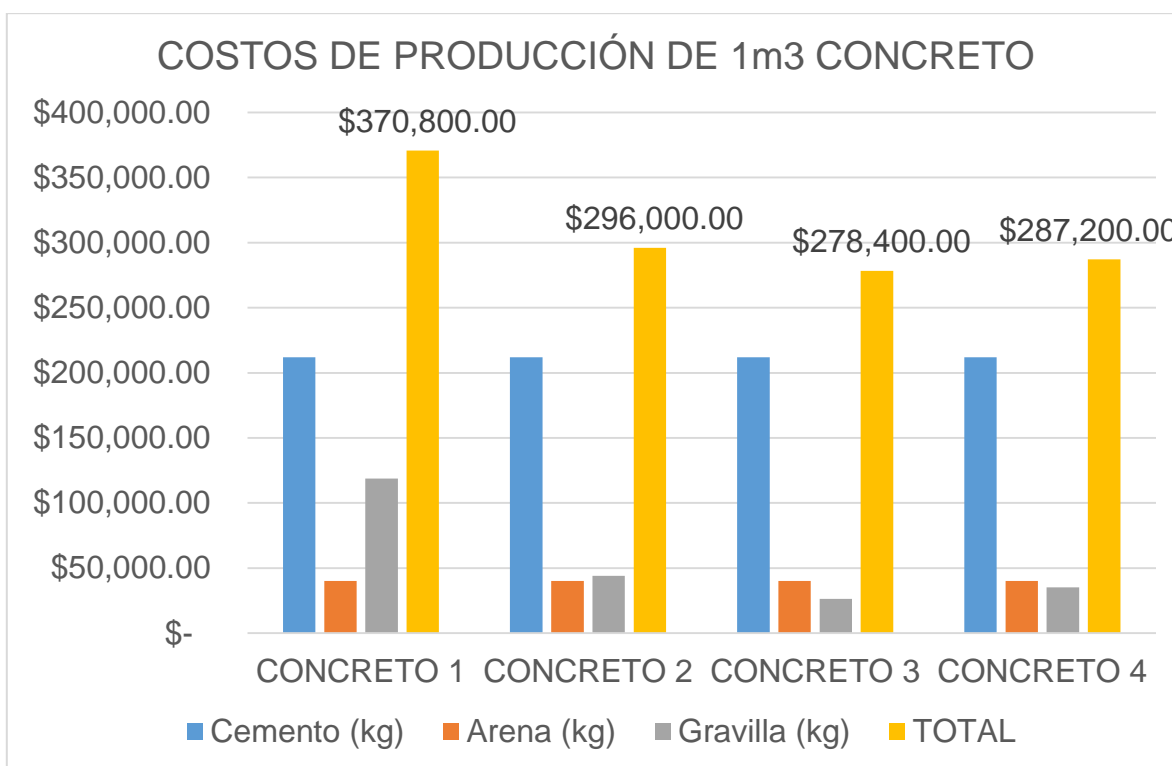


Figura 22. Costos de producción de 1 m³ de concreto.

En la Figura 23, puede apreciarse que el costo de la gravilla representa un 32% del total del valor de producción de la mezcla, mientras que el cemento representa el 57% del total de los costos.

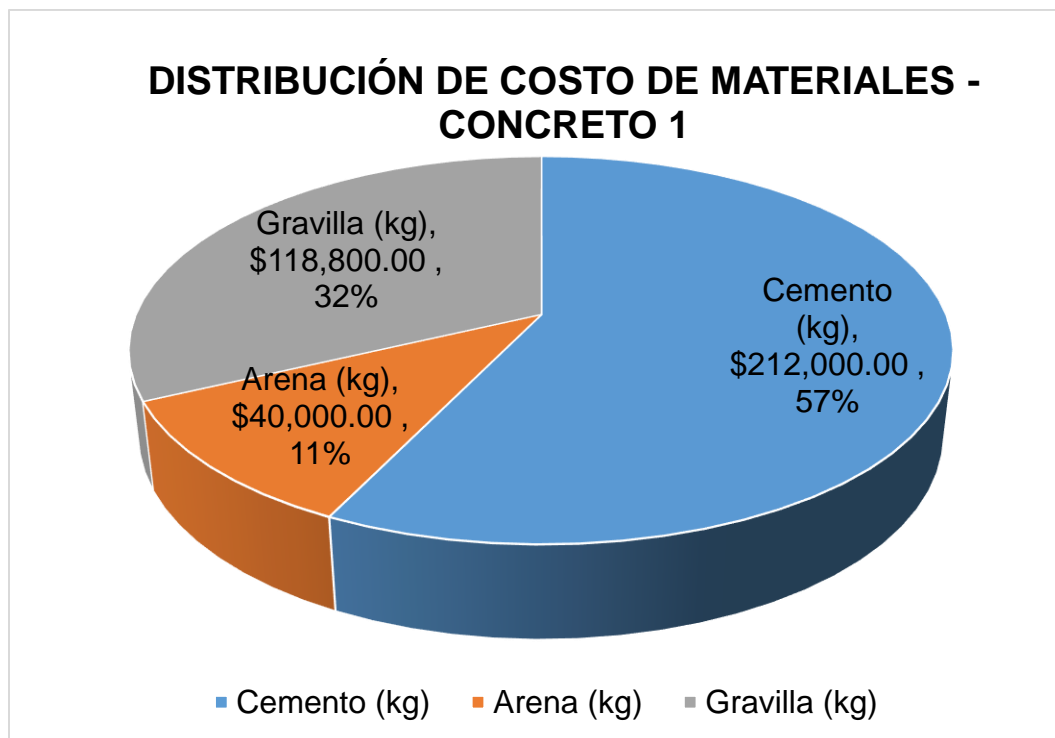


Figura 23. Distribución de costos de materiales en la producción del concreto tipo

2.

Una vez realizado el paralelo de precios unitarios a partir del levante de 1 m² de muro en concreto plástico tipo 2 con respecto al levante de muro no estructural con materiales cose tiene que:

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras comparar los costos de la implementación del concreto con agregado plástico a partir de la dosificación obtenida para el CONCRETO 2 (Tabla 30) en la fabricación de 1 m² de muro en mampostería con respecto a los costos que conlleva la fabricación de estos elementos a partir de bloques de cemento gris (Tabla 29) y bloque samo (Tabla 28).

CANTIDADES PARA LEVANTE DE 1 M2 DE MURO EN BLOQUE SAMO 10x20x40				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR FINAL
MURO EN BLOQUE SAMO	12.5	UND	\$ 1,200.00	\$ 15,000.00
CEMENTO 50 Kg	0.0546	BLS	\$ 26,500.00	\$ 1,446.90
ARENA	0.0087	M3	\$ 35,000.00	\$ 304.50
TOTAL				\$ 16,751.40

Tabla 28. Cantidades para levante de 1m2 de muro en bloque samo 10x20x40.

CANTIDADES PARA LEVANTE DE 1 M2 DE MURO EN BLOQUE CEMENTO 10x20x40				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR FINAL
MURO EN BLOQUE SAMO	12.5	UND	\$ 1,850.00	\$ 23,125.00
CEMENTO 50 Kg	0.0546	BLS	\$ 26,500.00	\$ 1,446.90
ARENA	0.0087	M3	\$ 35,000.00	\$ 304.50
TOTAL				\$ 24,876.40

Tabla 29. Cantidades para levante de 1 m2 de muro en bloque cemento 10x20x40.

CANTIDADES PARA LEVANTE DE 1 M2 DE MURO EN BLOQUE CON AG. PLASTICO 10x20x40				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR FINAL
CONCRETO CON PLASTICO TIPO 2 PARA HACER BLOQUES	0.0592	M3	\$296,000.00	\$ 17,523.20
CEMENTO 50 Kg	0.0546	BLS	\$ 26,500.00	\$ 1,446.90
ARENA	0.0087	M3	\$ 35,000.00	\$ 304.50
TOTAL				\$ 19,274.60

Tabla 30. Cantidades para levante de 1m2 de muro en bloque con agregado plástico 10x20x40.

A partir de los resultados establecidos anteriormente para la ejecución de la actividad levante de 1 m² de muro mediante el prototipo de construcción tradicional y el planteado en este estudio, se pudo determinar que el factor económico sigue prevaleciendo en la construcción tradicional con respecto a la implementación del Bloque Samo No. 4, sin embargo al utilizar el plástico como agregado sustituto se está reduciendo en altas concentraciones la cantidad de desechos que se generan a partir de los residuos de los equipos electrónicos los cuales tienen una etapa de degradación prolongada, estos materiales pueden ser reutilizados, de igual forma al comparar el concreto con plástico y el bloque de arena cemento se observa que es más rentable realizar la construcción a partir de concreto con sustitución de agregado plástico, cabe aclarar que en el cálculo de los costos que conllevan la fabricación de concreto con agregado E-WASTE no se contemplan los costos asociados a la adquisición del material reciclado, así como tampoco los costos generados como consecuencia de su molienda y procesamiento. Con respecto a las propiedades mecánicas que existen entre la implementación de un material y otro se requiere establecer una correlación entre la resistencia a la compresión tras en proceso de ensayo de los cilindros con agregado plástico con respecto a la resistencia indicada para los materiales usados convencionalmente que serían 3 Mpa en el caso del bloque samo y 10 Mpa en el caso del bloque de cemento gris. En la Figura 24 se muestran los resultados del análisis de costos realizado previamente. El precio de los materiales fue obtenido mediante la aplicación de un sondeo realizado en diferentes canteras de la zona del departamento del atlántico, este precio puede variar de acuerdo al lugar en donde se vaya realizar la actividad y a las condiciones que presente la zona.

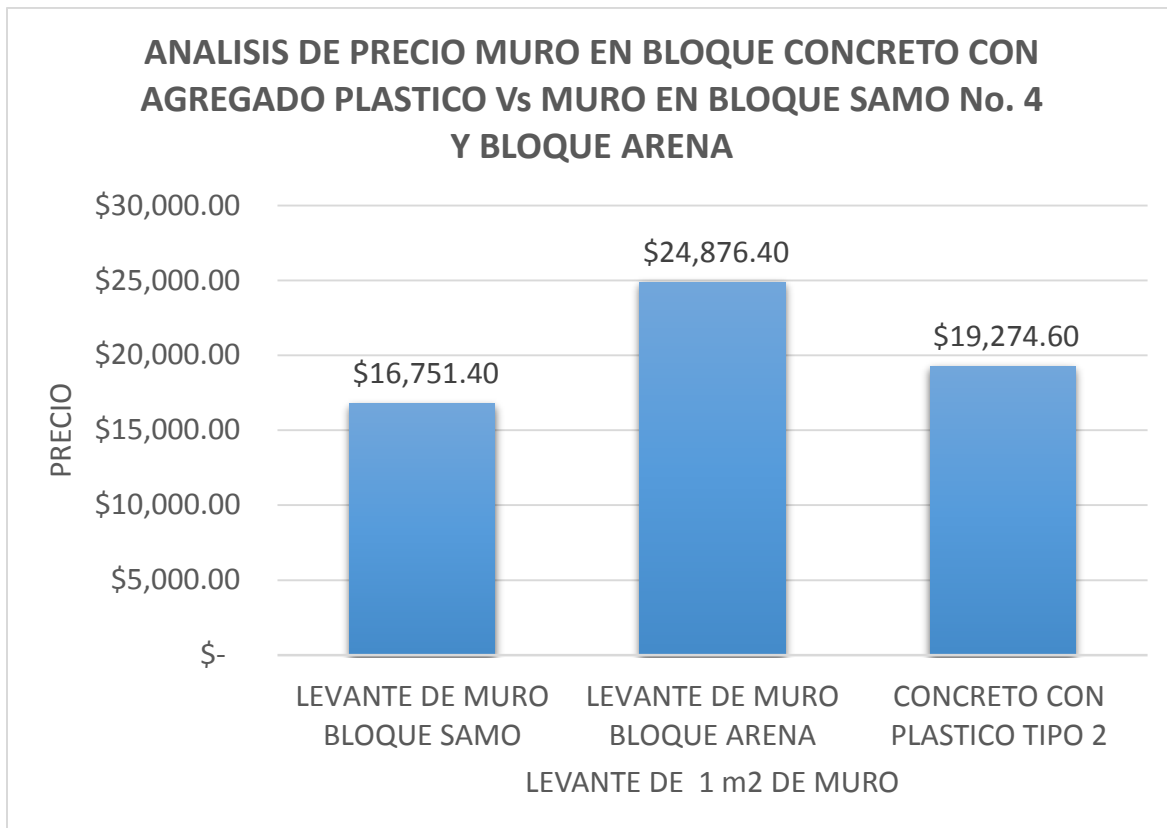


Figura 24. Análisis de precio muro en bloque concreto con agregado plástico y materiales convencionales.

7. CONCLUSIONES

A partir de la investigación desarrollada fue posible realizar el diseño de una mezcla de concreto a partir del uso de material plástico molido, residuo de carcasas de equipos electrónicos, en remplazo de los agregados pétreos tradicionales empleados en la fabricación de muros de concreto como elementos divisorios en viviendas de interés social. En el desarrollo del proyecto, se demostró que el concreto sin plástico ha alcanzado a los 28 días el 91% de la resistencia de diseño, obteniendo como resultado un valor promedio de 2728 psi, este resultado está por encima del mínimo requerido por la norma NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), indicando un diseño exitoso de la mezcla base tomada como referencia y en el caso de los concretos con plástico adicionado, los valores de resistencia a los 28 días (2147 psi, 1521 psi, 1803 psi) se pueden considerar satisfactorios teniendo en cuenta que estos concretos se utilizarán en la elaboración de elementos no estructurales como muros divisorios.

La investigación indica que el concreto con adición de plástico puede ser una posible solución para el tratamiento de desechos electrónicos. Al reutilizar los desechos de tipo E-WASTE se estará disminuyendo la concentración de este material toxico en los rellenos sanitarios y así se ayudara a mitigar los efectos adversos producidos como consecuencia de las dificultades que existen en la actualidad para el tratamiento de este tipo de desechos. Una vez se controle y clasifique el material idóneo para realizar dicha actividad se debe procesar el material para moldearlo de acuerdo a la necesidad de textura que este requiere para aumentar la resistencia y la adherencia junto al material cementante, a partir de los ensayos realizados en el

laboratorio de INCOSUELOS donde se evaluó la resistencia a compresión de los cilindros elaborados a partir de los diseños de mezcla con porcentajes de plástico adicionado, la Universidad de la Costa determinó las propiedades intrínsecas de cada uno de los materiales para la realización de este tipo de concreto, cabe aclarar que para que el precio del concreto con agregado plástico sea económicamente factible, el ente encargado de realizar el proyecto deberá contar con la infraestructura necesaria para la recolección, clasificación y adecuación del plástico tal como la Universidad de la Costa posee, es decir, que para implementar este proyecto a gran escala como se tiene previsto, se deberá contar con iniciativas apoyadas por mecanismos del gobierno en beneficio de las familias de escasos recursos que desean ser parte de un proyecto de interés social. A partir de esta tesis se pudo determinar que el concreto con adición de plástico del 40% cumple con las especificaciones mínimas de resistencia que exige la norma colombiana para la construcción de viviendas de interés social.

Una posible alternativa pensada para introducir este material al mercado, podría ser producirlo en bloques que se asemejen a las dimensiones y la forma propia de los bloques de cemento gris usados convencionalmente en la elaboración de elementos no estructurales como muros divisorios, de esta forma el producto no tendría ninguna desventaja en cuanto a los requerimientos constructivos con respecto a los muros elaborados a partir de materiales convencionales como el bloque samo o el bloque se cemento. Como pudo apreciarse en el análisis de costos realizado entre los bloques de concreto con agregado con agregado plástico y los materiales usados tradicionalmente en la elaboración de elementos no estructurales, se

esperaría que los bloques elaborados a partir de desechos E-WASTE tuvieran un alto nivel competitivo en el mercado.

Durante la aplicación de los ensayos a compresión, pudo apreciarse que el modo de falla presentado en los cilindros es muy poco común, debido a que algunos cilindros se desintegraron casi completamente, como se puede observar en las fotos del Anexo B. Este fenómeno podría atribuirse a la falta de adherencia entre la matriz cementante del concreto y los agregados plásticos usados. Esto indica que para utilizar este tipo de concreto con plástico hay que adelantar otros estudios para investigar este hecho y al mismo tiempo alcanzar una resistencia a compresión de por lo menos 2500 psi. Por otra parte, un factor a tener en cuenta para una futura investigación encaminada en esta temática podría ser modificar la morfología y la rugosidad del agregado plástico, con el fin de asemejarlo a la textura que se encuentra normalmente en los agregados de tipo mineral que se usan en la elaboración del concreto convencional.

La mezcla de concreto 2, que obtuvo una resistencia a la compresión de 2147 psi, podría ser implementada en la fabricación de elementos no estructurales como muros divisorios en viviendas de interés social. Luego de realizado este proceso se recomienda iniciar un estudio patológico, con el fin de identificar si existen variaciones en el comportamiento mecánico del concreto o se ve afectada su durabilidad ante la presencia de algún agente propio del medio ambiente, de este proceso podría derivarse una nueva investigación.

En conclusión, esta investigación puede dar paso a nuevos usos de materiales de desechos e-waste y al desarrollo de técnicas que permitan la recolección de este

material por personal calificado para el posterior estudio de sus propiedades mecánicas y la aplicación en diferentes campos de la ingeniería, enmarcado a una mejora de la calidad del medio ambiente con respecto al tratamiento de materiales compuesto plástico ABS y PC.

8. BIBLIOGRAFÍA

ACI. (1997). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete, ACI 211.1-91. *Manual of Concrete Practice*, (Reapproved), 1–38.

AIS, A. C. de I. S. (2010). NCR10 - Título C: Concreto estructural. *Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10*, 590.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Nsr-10 Título I. Supervision Tecnica, 1–21. Retrieved from http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_C.pdf

Balbuena, J. M. M. (2012). Materiales y tecnologías constructivas no convencionales: uso en países en vías de desarrollo. Retrieved from <http://www.upv.es/contenidos/AUCSOSTE/infoweb/ccsoste/info/U0587048.pdf>

Batayneh, M., Marie, I., & Asi, I. (2007). Use of selected waste materials in concrete mixes. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 27(12), 1870–6. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.026>

BLOG 360° EN CONCRETO. (2015). AGREGADOS RECICLADOS: ¿QUÉ Y PARA QUÉ? Retrieved from <http://blog.360gradosenconcreto.com/agregados->

reciclados-que-y-para-que/

Borrego Aguayo J. (1994). *CIENCIAS DE LA NATURALEZA*. Sevilla. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=igR81Z9ttOYC&pg=PA66&dq=ciclo+geologico+de+las+rocas&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi-z7Ld-snRAhXISSYKHYYmaAM0Q6AEIGDAA#v=onepage&q&f=false>

Bucknall, C. B. (1977). *Toughened Plastics*. London: Applied Science Publishers. Retrieved from <http://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-5349-4>

Congreso de la Republica de Colombia, P. N. de D. P. Vivienda de interés social y vivienda de interés social prioritaria”, Pub. L. No. artículo 88.

CTH NAVARRA. (2016). CTH NAVARRA. Retrieved May 2, 2016, from <http://www.cthnavarra.com/cth/web/cth/webcth.nsf/app/Producto/Yeso/Myrsac801>

DANE. (2014). Bogotá Prensa Indicadores Básicos de Tenencia y Uso de Tecnologías de la Información y Comunicación en Hogares y Personas TIC por parte de los hogares, 2012–2013.

DANE. (2016). *ENCUESTA NACIONAL DE CALIDAD DE VIDA - ECV 2015*. Retrieved from https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/calidad_vida/P

resentacion_ECV_2015.pdf

DAVID SANZ. (2010). ECOLOGÍA VERDE. Retrieved from <http://www.ecologiaverde.com/estudiantes-uruguayos-crean-hormigon-a-base-de-cascara-de-arroz/>

El Espectador. (2012). Reciclando basura electrónica. *El Espectador*.

Hanser, D. (2006). *Architecture of France* (1st ed.). Greenwood. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=zozjUU976h0C&pg=PA200&dq=pont+du+gard&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjN7cSRy6rMAhUJpB4KHZtyCPoQ6AEIJjAB#v=onepage&q=pont du gard&f=false>

Hopkins, K., & Beard, M. (2006). *The Colosseum*. London. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=XmK28Dd_8WEC&printsec=frontcover&dq=coliseum+rome&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjLoNOWzarMAhWLqx4KHTOMAMUQ6AEIMDAB#v=onepage&q=coliseum rome&f=false

ICONTEC. (1994). NTC 1377 - Normatécnica de elaboración y curado de especímenes.

ICONTEC. (2007). NTC 5551-Concretos- Durabilidad de Estructuras de Concreto.

Idb. (2015). Segregación del hormigón. Retrieved from <http://www.ingeniero-de->

caminos.com/2010/04/segregacion-del-hormigon.html

INCONTEC. (2010). NTC 673 Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. *Norma Técnica Colombiana*, (571).

Jo, B.-W., Park, S.-K., & Park, J.-C. (2008). Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 22(12), 2281–2291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.009>

Kumar, K. S., & Baskar, K. (2014). Response Surfaces for Fresh and Hardened Properties of Concrete with E-Waste (HIPS), 2014(SEPTEMBER 2014). <https://doi.org/10.1155/2014/517219>

Kumar, K. S., & Baskar, K. (2015). Development of Ecofriendly Concrete Incorporating Recycled High-Impact Polystyrene from Hazardous Electronic Waste, 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000265](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000265).

Lakshmi, R., & Nagan, S. (2010). Studies on Concrete containing E plastic waste. *International Journal of Environmental Sciences*, 1(3), 270–281.

Lakshmi, R., Nagan, S., & Dist, S. (2011). E-PLASTIC WASTE INCORPORATED CONCRETE, 12(6), 773–787.

MADS. (2014). Reciclar, una nueva costumbre. *El Espectador*, 129–136.

Mafla, A. (2009). Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción. *Inventum No.6*, (6), 74–78.

Manatkar, P. A., & Deshmukh, G. P. (2015). USE OF NON-METALLIC E-WASTE AS A COARSE AGGREGATE IN A CONCRETE, 242–246.

Matthew, W. (2013). *The Pyramids and Temples of Gizeh*. London: University
 Pinting House, Cambridge. Retrieved from
<https://books.google.com.co/books?id=Wb40AAAAQBAJ&pg=PA162&dq=gizeh&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjAi8S5zqrMAhXlox4KHbdvDY0Q6AEIGjAA#v=onepage&q=gizeh&f=false>

Ministerio de Ambiente. (2014). Reciclar, una nueva costumbre. *El Espectador*, 129–136.

Montenegro, J. R. (2014). Colombia vs. la basura electrónica, un partido que va empatado, 30.

ONU. Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos. El derecho humano a una vivienda adecuada.

PRAGMACERO. (2014). INNOVADOR CONCRETO FLEXIBLE

ULTRARESISTENTE. Retrieved from <http://www.pragmacero.com/innovador-concreto-flexible-ultraresistente/>

Sabău, M., Pop, I., & Oneț, T. (2016). Experimental study on local bond stress-slip relationship in self-compacting concrete. *Materials and Structures*, 49(9), 3693–3711. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0749-5>

Sadrmomtazi, A., Dolati-Milehsara, S., Lotfi-Omran, O., & Sadeghi-Nik, A. (2015). The combined effects of waste Polyethylene Terephthalate (PET) particles and pozzolanic materials on the properties of self-compacting concrete. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.107>

San Juan, M., & Chinchón, S. (2004). *El cemento portland: fabricación y expedición*. (Universidad de Alicante, Ed.). Alicante. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=JqW9PQAACAAJ&dq=el+cemento+portland&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj0n9D42KrMAhWMMmh4KHVJJJC6QQ6AEIQzAE>

Sanchez De Guzman, D. (2011). *Tecnologia Del Concreto Tomo II, Manejo y Colocacion en Obra* (Tercera Ed).

Senthil Kumar, K., & Baskar, K. (2015). Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 17(4), 718–724. <https://doi.org/10.1007/s10163-014->

0303-5

Silva, R. V., de Brito, J., & Saikia, N. (2013). Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 35(1), 23–31.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.017>

TECARAN. (2017). PLASTICS INTERNATIONAL. Retrieved January 16, 2017, from
<http://www.plasticsintl.com/abs.htm>

ANEXOS**ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO CONCRETO EN ESTADO FRESCO**









ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS

B.1 Fotos ensayo a los 7 días de edad







B.2 Fotos ensayo a los 14 días de edad.







B.3 Fotos ensayo a los 28 días de edad





ANEXO C. INFORMES ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS SUMINISTRADOS POR INCOSUELOS LTDA

C.1 Informe de ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días de edad.

 INCOSUELOS LTDA Ingenieros Civiles		ENSAYOS DE CILINDROS A LA COMPRESION (NORMA ICONTEC 673)									
OBRA: VIVIENDA DE INTERES SOCIAL (VIS) CONTRATISTA: UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC UBICACIÓN: CALLE 58 N° 55-66		INFORME : C359UCS16 FECHA : 06-sep-16 HOJA : 1 DE 1									
REF. INTERNA	REFERENCIA PARTICULAR (LOCALIZACIÓN)	FECHA DE ENSAYO		EDAD (DIA)	LECTURA (LIBRA)	RESISTENCIA ENSAYO (PSI)	OBSERVACIONES				
672	Concreto N° 1	29-ago-16	06-sep-16	8	53966	1909					
673	Concreto N° 1	29-ago-16	06-sep-16	8	54107	1914					
674	Concreto N° 2	29-ago-16	06-sep-16	8	53781	1902					
675	Concreto N° 2	29-ago-16	06-sep-16	8	43124	1525					
676	Concreto N° 3	30-ago-16	06-sep-16	7	35407	1252					
677	Concreto N° 3	30-ago-16	06-sep-16	7	36573	1294					
678	Concreto N° 4	30-ago-16	06-sep-16	7	38089	1347					
679	Concreto N° 4	30-ago-16	06-sep-16	7	35174	1244					
***	***	***	***	***	***	***	***				
											

OBRA:	VIVIENDA DE INTERES SOCIAL (VIS)
CONTRATISTA:	UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
UBICACIÓN:	CALLE 58 N° 55-66

INFORME : C371UCS16
FECHA : 13-sep-16
HOJA : 1 DE 1

[illegible]

ENSAYOS DE CILINDROS A LA COMPRESION (NORMA ICONTEC 673)

INFORME : C359UCS16
FECHA : 06-sep-16
HOJA : 1 DE 1

REF. INTERNA	REFERENCIA PARTICULAR (LOCALIZACION)	FECHA DE		EDAD (DIA)	LECTURA (LIBRA)	RESISTENCIA ENSAYO (PSI)	OBSERVACIONES
		TOMA	ENSAYO				
672	Concreto N° 1	29-ago-16	06-sep-16	8	53966	1909	
673	Concreto N° 1	29-ago-16	06-sep-16	8	54107	1914	
674	Concreto N° 2	29-ago-16	06-sep-16	8	53781	1902	
675	Concreto N° 2	29-ago-16	06-sep-16	8	43124	1525	
676	Concreto N° 3	30-ago-16	06-sep-16	7	35407	1252	
677	Concreto N° 3	30-ago-16	06-sep-16	7	36573	1294	
678	Concreto N° 4	30-ago-16	06-sep-16	7	38089	1347	
679	Concreto N° 4	30-ago-16	06-sep-16	7	35174	1244	
SUM.	SUM.	SUM.	SUM.	SUM.	SUM.	SUM.	SUM.

Robert C